

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 8 月 4 日 (04.08.2005)

PCT

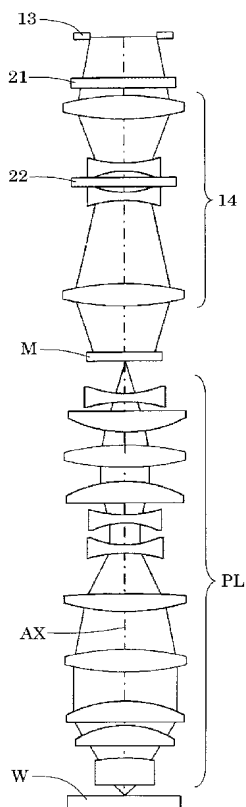
(10) 国際公開番号
WO 2005/071718 A1

- (51) 国際特許分類: H01L 21/027, (72) 発明者; および
G02B 13/24, 17/08, G03F 7/20 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 大村 泰弘
(OMURA, Yasuhiro) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田
(21) 国際出願番号: PCT/JP2005/000406 区丸の内三丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン内 Tokyo
(22) 国際出願日: 2005 年 1 月 14 日 (14.01.2005) (JP).
(25) 国際出願の言語: 日本語 (74) 代理人: 山口 孝雄 (YAMAGUCHI, Takao); 〒1010048
(26) 国際公開の言語: 日本語 東京都千代田区神田司町二丁目 10 番地 第一ビル
Tokyo (JP).
(30) 優先権データ:
特願 2004-018226 2004 年 1 月 27 日 (27.01.2004) JP (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が
特願 2004-338749 2004 年 11 月 24 日 (24.11.2004) JP 可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,
BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社 DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,
ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331 ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS,
東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP). LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA,
NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL SYSTEM, EXPOSURE SYSTEM, AND EXPOSURE METHOD

(54) 発明の名称: 光学系、露光装置、および露光方法



(57) Abstract: An optical system capable of realizing, based on a simple construction, an almost peripheral-direction polarized state inside a lens aperture with a limited light quantity loss. The optical system comprises a double refraction element (21) for forming an advanced phase axis distribution inside a lens aperture into an almost circumferential-direction distribution or an almost radial-direction distribution, and an optical rotation element (22) disposed behind this double refraction element so as to rotate a polarized state inside the lens aperture. The double refraction element is formed of a uniaxial crystal material and has a light transmitting member having its crystal optical axis disposed almost in parallel to the optical axis. An almost spherical-wave light flux enters the light transmitting member in an almost circularly polarized state.

(57) 要約: 簡素な構成に基づいて、光量損失を抑えつつ、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することのできる光学系。本発明の光学系は、レンズ開口内の進相軸分布をほぼ円周方向の分布またはほぼ半径方向の分布にするための複屈折素子 (21) と、この複屈折素子の後側に配置されてレンズ開口内の偏光状態を回転させるための旋光素子 (22) とを備えている。複屈折素子は、一軸性結晶材料により形成され、且つ結晶光学軸が光軸とほぼ平行に配置された光透過部材を有する。光透過部材には、ほぼ円偏光状態でほぼ球面波の光束が入射する。

WO 2005/071718 A1



SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護
が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA,
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ,
BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE,
BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

光学系、露光装置、および露光方法

技術分野

- [0001] 本発明は、光学系、露光装置、および露光方法に関し、特に半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスをリソグラフィー工程で製造するための露光装置に関するものである。

背景技術

- [0002] この種の典型的な露光装置においては、光源から射出された光束が、オブティカルインテグレータとしてのフライアイレンズを介して、多数の光源からなる実質的な面光源としての二次光源を形成する。二次光源からの光束は、フライアイレンズの後側焦点面の近傍に配置された開口絞りを介して制限された後、コンデンサーレンズに入射する。
- [0003] コンデンサーレンズにより集光された光束は、所定のパターンが形成されたマスクを重疊的に照明する。マスクのパターンを透過した光は、投影光学系を介してウェハ上に結像する。こうして、ウェハ上には、マスクパターンが投影露光(転写)される。なお、マスクに形成されたパターンは高集積化されており、この微細パターンをウェハ上に正確に転写するにはウェハ上においてコントラストの高いパターン像を得ることが不可欠である。
- [0004] そこで、たとえば投影光学系のレンズ開口(瞳面)内において露光光の偏光状態を円周方向に振動する直線偏光状態(以下、「周方向偏光状態」という)に設定することにより、ウェハ上において微細パターンの高コントラスト像を得る技術が提案されている(特許文献1を参照)。

特許文献1:特開平5-90128号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0005] しかしながら、上述の特許文献に開示された従来技術では、投影光学系の瞳面に配置された偏光部材を用いて、円周方向に振動する直線偏光成分だけを透過させ

ることにより、レンズ開口内における露光光の偏光状態を周方向偏光状態に設定している。その結果、偏光部材における光量損失が非常に大きく、露光装置のスループットが低下するという不都合があった。

- [0006] 本発明は、簡素な構成に基づいて、光量損失を抑えつつ、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することのできる光学系を提供することを目的とする。また、本発明は、光量損失を抑えつつレンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することのできる光学系を用いて、マスクの微細パターンの高コントラスト像を感光性基板上に形成し、高スループットで且つ忠実な露光を行うことのできる露光装置および露光方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0007] 前記目的を達成するために、本発明の第1形態では、レンズ開口内の進相軸分布をほぼ円周方向の分布またはほぼ半径方向の分布にするための複屈折素子と、該複屈折素子の後側に配置されて前記レンズ開口内の偏光状態を回転させるための旋光素子とを備えていることを特徴とする光学系を提供する。
- [0008] 本発明の第2形態では、直線複屈折性と旋光性とを有する光学材料により形成され且つ光学軸が光軸とほぼ平行に配置された複屈折旋光素子を備え、
前記複屈折旋光素子には、ほぼ円偏光状態の光束が入射することを特徴とする光学系を提供する。
- [0009] 本発明の第3形態では、第1形態または第2形態の光学系を備え、該光学系を介してマスクのパターンを感光性基板上に露光することを特徴とする露光装置を提供する。
- [0010] 本発明の第4形態では、マスクに形成されたパターンを、第1形態または第2形態の光学系を介して、感光性基板上に露光することを特徴とする露光方法を提供する。

発明の効果

- [0011] 本発明では、たとえばレンズ開口内の進相軸分布をほぼ円周方向の分布またはほぼ半径方向の分布にするための複屈折素子と、この複屈折素子の後側に配置されてレンズ開口内の偏光状態を回転させるための旋光素子との協働作用により、簡素な構成に基づいて、光量損失を抑えつつ、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光

状態を実現することのできる光学系を実現することができる。

- [0012] また、本発明の露光装置および露光方法では、光量損失を抑えつつレンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することのできる光学系を用いているので、マスクの微細パターンの高コントラスト像を感光性基板上に形成し、高スループットで且つ忠実な露光を行うことができ、ひいては高いスループットで良好なデバイスを製造することができる。

図面の簡単な説明

- [0013] [図1]本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。
[図2]輪帯状の二次光源に対する円錐アキシコン系の作用を説明する図である。
[図3]輪帯状の二次光源に対するズームレンズの作用を説明する図である。
[図4]図1の偏光モニターの内部構成を概略的に示す斜視図である。
[図5]本実施形態にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図であって、マスクブラインドからウェハまでの構成を示している。
[図6] (a)はレンズ開口内において円周方向に振動する直線偏光状態を、(b)はレンズ開口内において半径方向に振動する直線偏光状態をそれぞれ示している。
[図7]物体側にテレセントリックな光学系の光路中の所定位置に複屈折素子と旋光素子とを付設した様子を示す図である。
[図8] (a)はレンズ開口内の円周方向の進相軸分布を、(b)はレンズ開口内の半径方向の進相軸分布をそれぞれ示している。
[図9]複屈折素子に入射する円偏光のレンズ開口内の偏光分布を示す図である。
[図10]複屈折素子を通過した光束のレンズ開口内の偏光分布を示す図である。
[図11]複屈折素子および旋光素子を介して得られるレンズ開口内の偏光分布を示す図である。
[図12]本実施形態の第1変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。
[図13]本実施形態の第2変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。
[図14]本実施形態の第3変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図で

ある。

[図15]本実施形態の第4変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。

[図16]本実施形態の第5変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。

[図17]本実施形態の第6変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。

[図18]ポアンカレ球を用いて複屈折旋光素子内における偏光状態の変化を説明する図である。

[図19]本実施形態の第7変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。

[図20]本実施形態の第8変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。

[図21]本実施形態の第9変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。

[図22]本実施形態の第10変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。

[図23]本実施形態の第11変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。

[図24]本実施形態の第12変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。

[図25]本実施形態の第13変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。

[図26]本実施形態の第14変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。

[図27]本実施形態の第15変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。

[図28]マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートであ

る。

[図29]マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

発明を実施するための最良の形態

- [0014] 本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。図1は、本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。図1において、感光性基板であるウェハWの法線方向に沿ってZ軸を、ウェハWの面内において図1の紙面に平行な方向にY軸を、ウェハWの面内において図1の紙面に垂直な方向にX軸をそれぞれ設定している。図1を参照すると、本実施形態の露光装置は、露光光(照明光)を供給するための光源1を備えている。
- [0015] 光源1として、たとえば248nmの波長の光を供給するKrFエキシマレーザ光源や193nmの波長の光を供給するArFエキシマレーザ光源などを用いることができる。光源1からZ方向に沿って射出されたほぼ平行な光束は、X方向に沿って細長く延びた矩形状の断面を有し、一對のレンズ2aおよび2bからなるビームエキスパンダー2に入射する。各レンズ2aおよび2bは、図1の紙面内(YZ平面内)において負の屈折力および正の屈折力をそれぞれ有する。したがって、ビームエキスパンダー2に入射した光束は、図1の紙面内において拡大され、所定の矩形状の断面を有する光束に整形される。
- [0016] 整形光学系としてのビームエキスパンダー2を介したほぼ平行な光束は、折り曲げミラー3でY方向に偏向された後、1/4波長板4a、1/2波長板4b、デポライザ(非偏光化素子)4c、および輪帯照明用の回折光学素子5を介して、アフォーカルレンズ6に入射する。ここで、1/4波長板4a、1/2波長板4b、およびデポライザ4cは、後述するように、偏光状態切換手段4を構成している。アフォーカルレンズ6は、その前側焦点位置と回折光学素子5の位置とがほぼ一致し且つその後側焦点位置と図中破線で示す所定面7の位置とがほぼ一致するように設定されたアフォーカル系(無焦点光学系)である。
- [0017] 一般に、回折光学素子は、基板に露光光(照明光)の波長程度のピッチを有する段差を形成することによって構成され、入射ビームを所望の角度に回折する作用を有

する。具体的には、輪帯照明用の回折光学素子5は、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、そのファーフールド(またはフラウンホーファー回折領域)に輪帯状の光強度分布を形成する機能を有する。

[0018] したがって、光束変換素子としての回折光学素子5に入射したほぼ平行光束は、アフォーカルレンズ6の瞳面に輪帯状の光強度分布を形成した後、ほぼ平行光束となってアフォーカルレンズ6から射出される。なお、アフォーカルレンズ6の前側レンズ群6aと後側レンズ群6bとの間の光路中においてその瞳面またはその近傍には、円錐アキシコン系8が配置されているが、その詳細な構成および作用については後述する。以下、説明を簡単にするために、円錐アキシコン系8の作用を無視して、基本的な構成および作用を説明する。

[0019] アフォーカルレンズ6を介した光束は、 σ 値可変用のズームレンズ9を介して、オプティカルインテグレータとしてのマイクロフライアイレンズ(またはフライアイレンズ)10に入射する。マイクロフライアイレンズ10は、縦横に且つ稠密に配列された多数の正屈折力を有する微小レンズからなる光学素子である。一般に、マイクロフライアイレンズは、たとえば平行平板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成される。

[0020] ここで、マイクロフライアイレンズを構成する各微小レンズは、フライアイレンズを構成する各レンズエレメントよりも微小である。また、マイクロフライアイレンズは、互いに隔絶されたレンズエレメントからなるフライアイレンズとは異なり、多数の微小レンズ(微小屈折面)が互いに隔絶されることなく一体的に形成されている。しかしながら、正屈折力を有するレンズ要素が縦横に配置されている点でマイクロフライアイレンズはフライアイレンズと同じ波面分割型のオプティカルインテグレータである。

[0021] 所定面7の位置はズームレンズ9の前側焦点位置の近傍に配置され、マイクロフライアイレンズ10の入射面はズームレンズ9の後側焦点位置の近傍に配置されている。換言すると、ズームレンズ9は、所定面7とマイクロフライアイレンズ10の入射面とを実質的にフーリエ変換の関係に配置し、ひいてはアフォーカルレンズ6の瞳面とマイクロフライアイレンズ10の入射面とを光学的にほぼ共役に配置している。

[0022] したがって、マイクロフライアイレンズ10の入射面上には、アフォーカルレンズ6の瞳

面と同様に、たとえば光軸AXを中心とした輪帯状の照野が形成される。この輪帯状の照野の全体形状は、ズームレンズ9の焦点距離に依存して相似的に変化する。マイクロフライアイレンズ10を構成する各微小レンズは、マスクM上において形成すべき照野の形状(ひいてはウェハW上において形成すべき露光領域の形状)と相似な矩形状の断面を有する。

[0023] マイクロフライアイレンズ10に入射した光束は多数の微小レンズにより二次元的に分割され、その後側焦点面(ひいては照明瞳)には、入射光束によって形成される照野とほぼ同じ光強度分布を有する二次光源、すなわち光軸AXを中心とした輪帯状の実質的な面光源からなる二次光源が形成される。マイクロフライアイレンズ10の後側焦点面に形成された二次光源からの光束は、ビームスプリッター11aおよびコンデンサー光学系12を介した後、マスクブラインド13を重畳的に照明する。

[0024] こうして、照明視野絞りとしてのマスクブラインド13には、マイクロフライアイレンズ10を構成する各微小レンズの形状と焦点距離とに応じた矩形状の照野が形成される。なお、ビームスプリッター11aを内蔵する偏光モニター11の内部構成および作用については後述する。マスクブラインド13の矩形状の開口部(光透過部)を介した光束は、結像光学系14の集光作用を受けた後、所定のパターンが形成されたマスクMを重畳的に且つほぼテレセントリックに照明する。

[0025] すなわち、結像光学系14は、マスクブラインド13の矩形状開口部の像をマスクM上に形成することになる。マスクMのパターンを透過した光束は、物体側および像側の双方にほぼテレセントリックな投影光学系PLを介して、感光性基板であるウェハW上にマスクパターンの像を形成する。こうして、投影光学系PLの光軸AXと直交する平面(XY平面)内においてウェハWを二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光を行うことにより、ウェハWの各露光領域にはマスクMのパターンが逐次露光される。

[0026] なお、偏光状態切換手段4において、1/4波長板4aは、光軸AXを中心として結晶光学軸が回転自在に構成されて、入射する楕円偏光の光を直線偏光の光に変換する。また、1/2波長板4bは、光軸AXを中心として結晶光学軸が回転自在に構成されて、入射する直線偏光の偏光面を変化させる。また、デポライザ4cは、相補的

な形状を有する楔形状の水晶プリズム(不図示)と楔形状の石英プリズム(不図示)とにより構成されている。水晶プリズムと石英プリズムとは、一体的なプリズム組立体として、照明光路に対して挿脱自在に構成されている。

- [0027] 光源1としてKrFエキシマレーザ光源やArFエキシマレーザ光源を用いる場合、これらの光源から射出される光は典型的には95%以上の偏光度を有し、1/4波長板4aにはほぼ直線偏光の光が入射する。しかしながら、光源1と偏光状態切換手段4との間の光路中に裏面反射鏡としての直角プリズムが介在する場合、入射する直線偏光の偏光面がP偏光面またはS偏光面に一致していないと、直角プリズムでの全反射により直線偏光が楕円偏光に変わる。
- [0028] 偏光状態切換手段4では、たとえば直角プリズムでの全反射に起因して楕円偏光の光が入射しても、1/4波長板4aの作用により変換された直線偏光の光が1/2波長板4bに入射する。1/2波長板4bの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定された場合、1/2波長板4bに入射した直線偏光の光は偏光面が変化することなくそのまま通過する。
- [0029] また、1/2波長板4bの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定された場合、1/2波長板4bに入射した直線偏光の光は偏光面が90度だけ変化した直線偏光の光に変換される。さらに、デポライザ4cの水晶プリズムの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定された場合、水晶プリズムに入射した直線偏光の光は非偏光状態の光に変換(非偏光化)される。
- [0030] 偏光状態切換手段4では、デポライザ4cが照明光路中に位置決めされたときに水晶プリズムの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように構成されている。ちなみに、水晶プリズムの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定された場合、水晶プリズムに入射した直線偏光の光は偏光面が変化することなくそのまま通過する。また、1/2波長板4bの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して22.5度の角度をなすように設定された場合、1/2波長板4bに入射した直線偏光の光は、偏光面が変化することなくそのまま通過する直線偏光成分と偏光面が90度だけ変化した直線偏

光成分とを含む非偏光状態の光に変換される。

[0031] 偏光状態切換手段4では、上述したように、直線偏光の光が1/2波長板4bに入射するが、以下の説明を簡単にするために、図1においてZ方向に偏光方向(電場の方向)を有する直線偏光(以下、「Z方向偏光」と称する)の光が1/2波長板4bに入射するものとする。デポライザ4cを照明光路中に位置決めした場合、1/2波長板4bの結晶光学軸を入射するZ方向偏光の偏光面(偏光方向)に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、1/2波長板4bに入射したZ方向偏光の光は偏光面が変化することなくZ方向偏光のまま通過してデポライザ4cの水晶プリズムに入射する。水晶プリズムの結晶光学軸は入射するZ方向偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定されているので、水晶プリズムに入射したZ方向偏光の光は非偏光状態の光に変換される。

[0032] 水晶プリズムを介して非偏光化された光は、光の進行方向を補償するためのコンペンセータとしての石英プリズムを介して、非偏光状態で回折光学素子5に入射する。一方、1/2波長板4bの結晶光学軸を入射するZ方向偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、1/2波長板4bに入射したZ方向偏光の光は偏光面が90度だけ変化し、図1においてX方向に偏光方向(電場の方向)を有する直線偏光(以下、「X方向偏光」と称する)の光になってデポライザ4cの水晶プリズムに入射する。水晶プリズムの結晶光学軸は入射するX方向偏光の偏光面に対しても45度の角度をなすように設定されているので、水晶プリズムに入射したX方向偏光の光は非偏光状態の光に変換され、石英プリズムを介して、非偏光状態で回折光学素子5に入射する。

[0033] これに対し、デポライザ4cを照明光路から退避させた場合、1/2波長板4bの結晶光学軸を入射するZ方向偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、1/2波長板4bに入射したZ方向偏光の光は偏光面が変化することなくZ方向偏光のまま通過し、Z方向偏光状態で回折光学素子5に入射する。一方、1/2波長板4bの結晶光学軸を入射するZ方向偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、1/2波長板4bに入射したZ方向偏光の光は偏光面が90度だけ変化してX方向偏光の光になり、X方向偏光状態で回折光学素子5に入射する。

- 。
- [0034] 以上のように、偏光状態切換手段4では、デポライザ4cを照明光路中に挿入して位置決めすることにより、非偏光状態の光を回折光学素子5に入射させることができる。また、デポライザ4cを照明光路から退避させ且つ1/2波長板4bの結晶光学軸を入射するZ方向偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定することにより、Z方向偏光状態の光を回折光学素子5に入射させることができる。さらに、デポライザ4cを照明光路から退避させ且つ1/2波長板4bの結晶光学軸を入射するZ方向偏光の偏光面に対して45度をなすように設定することにより、X方向偏光状態の光を回折光学素子5に入射させることができる。
- [0035] 換言すれば、偏光状態切換手段4では、1/4波長板4aと1/2波長板4bとデポライザ4cとからなる偏光状態切換手段の作用により、回折光学素子5への入射光の偏光状態(ひいてはマスクMおよびウェハWを照明する光の偏光状態)を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることができ、直線偏光状態の場合には互いに直交する偏光状態間(Z方向偏光とX方向偏光との間)で切り換えることができる。
- [0036] さらに、偏光状態切換手段4では、1/2波長板4bおよびデポライザ4cとともに照明光路から退避させ、且つ1/4波長板4aの結晶光学軸を入射する楕円偏光に対して所定の角度をなすように設定することにより、円偏光状態の光を回折光学素子5に(ひいては後述の複屈折素子21に)入射させることができる。
- [0037] 円錐アキシコン系8は、光源側から順に、光源側に平面を向け且つマスク側に凹円錐状の屈折面を向けた第1プリズム部材8aと、マスク側に平面を向け且つ光源側に凸円錐状の屈折面を向けた第2プリズム部材8bとから構成されている。そして、第1プリズム部材8aの凹円錐状の屈折面と第2プリズム部材8bの凸円錐状の屈折面とは、互いに当接可能なように相補的に形成されている。また、第1プリズム部材8aおよび第2プリズム部材8bのうち少なくとも一方の部材が光軸AXに沿って移動可能に構成され、第1プリズム部材8aの凹円錐状の屈折面と第2プリズム部材8bの凸円錐状の屈折面との間隔が可変に構成されている。
- [0038] ここで、第1プリズム部材8aの凹円錐状屈折面と第2プリズム部材8bの凸円錐状屈折面とが互いに当接している状態では、円錐アキシコン系8は平行平板として機能

し、形成される輪帯状の二次光源に及ぼす影響はない。しかしながら、第1プリズム部材8aの凹円錐状屈折面と第2プリズム部材8bの凸円錐状屈折面とを離間させると、円錐アキシコン系8は、いわゆるビームエキスパンダーとして機能する。したがって、円錐アキシコン系8の間隔の変化に伴って、所定面7への入射光束の角度は変化する。

[0039] 図2は、輪帯状の二次光源に対する円錐アキシコン系の作用を説明する図である。図2を参照すると、円錐アキシコン系8の間隔が零で且つズームレンズ9の焦点距離が最小値に設定された状態(以下、「標準状態」という)で形成された最も小さい輪帯状の二次光源30aが、円錐アキシコン系8の間隔を零から所定の値まで拡大させることにより、その幅(外径と内径との差の $1/2$: 図中矢印で示す)が変化することなく、その外径および内径がともに拡大された輪帯状の二次光源30bに変化する。換言すると、円錐アキシコン系8の作用により、輪帯状の二次光源の幅が変化することなく、その輪帯比(内径/外径)および大きさ(外径)がともに変化する。

[0040] 図3は、輪帯状の二次光源に対するズームレンズの作用を説明する図である。図3を参照すると、標準状態で形成された輪帯状の二次光源30aが、ズームレンズ9の焦点距離を最小値から所定の値へ拡大させることにより、その全体形状が相似的に拡大された輪帯状の二次光源30cに変化する。換言すると、ズームレンズ9の作用により、輪帯状の二次光源の輪帯比が変化することなく、その幅および大きさ(外径)がともに変化する。

[0041] 図4は、図1の偏光モニターの内部構成を概略的に示す斜視図である。図4を参照すると、偏光モニター11は、マイクロフライアイレンズ10とコンデンサー光学系12との間の光路中に配置された第1ビームスプリッター11aを備えている。第1ビームスプリッター11aは、たとえば石英ガラスにより形成されたノンコート(すなわち素ガラス)の形態を有し、入射光の偏光状態とは異なる偏光状態の反射光を光路から取り出す機能を有する。

[0042] 第1ビームスプリッター11aにより光路から取り出された光は、第2ビームスプリッター11bに入射する。第2ビームスプリッター11bは、第1ビームスプリッター11aと同様に、例えば石英ガラスにより形成されたノンコート(すなわち素ガラス)の形態を有し、入射光

の偏光状態とは異なる偏光状態の反射光を発生させる機能を有する。そして、第1ビームスプリッター11aに対するP偏光が第2ビームスプリッター11bに対するS偏光になり、且つ第1ビームスプリッター11aに対するS偏光が第2ビームスプリッター11bに対するP偏光になるように設定されている。

[0043] また、第2ビームスプリッター11bを透過した光は第1光強度検出器11cにより検出され、第2ビームスプリッター11bで反射された光は第2光強度検出器11dにより検出される。第1光強度検出器11cおよび第2光強度検出器11dの出力は、それぞれ制御部(不図示)に供給される。制御部は、偏光状態切換手段4を構成する1/4波長板4a、1/2波長板4bおよびデポライザ4cを必要に応じて駆動する。

[0044] 上述のように、第1ビームスプリッター11aおよび第2ビームスプリッター11bにおいて、P偏光に対する反射率とS偏光に対する反射率とが実質的に異なっている。したがって、偏光モニター11では、第1ビームスプリッター11aからの反射光が、例えば第1ビームスプリッター11aへの入射光の10%程度のS偏光成分(第1ビームスプリッター11aに対するS偏光成分であって第2ビームスプリッター11bに対するP偏光成分)と、例えば第1ビームスプリッター11aへの入射光の1%程度のP偏光成分(第1ビームスプリッター11aに対するP偏光成分であって第2ビームスプリッター11bに対するS偏光成分)とを含むことになる。

[0045] また、第2ビームスプリッター11bからの反射光は、例えば第1ビームスプリッター11aへの入射光の $10\% \times 1\% = 0.1\%$ 程度のP偏光成分(第1ビームスプリッター11aに対するP偏光成分であって第2ビームスプリッター11bに対するS偏光成分)と、例えば第1ビームスプリッター11aへの入射光の $1\% \times 10\% = 0.1\%$ 程度のS偏光成分(第1ビームスプリッター11aに対するS偏光成分であって第2ビームスプリッター11bに対するP偏光成分)とを含むことになる。

[0046] こうして、偏光モニター11では、第1ビームスプリッター11aが、その反射特性に応じて、入射光の偏光状態とは異なる偏光状態の反射光を光路から取り出す機能を有する。その結果、第2ビームスプリッター11bの偏光特性による偏光変動の影響を僅かに受けるものの、第1光強度検出器11cの出力(第2ビームスプリッター11bの透過光の強度に関する情報、すなわち第1ビームスプリッター11aからの反射光とほぼ同

じ偏光状態の光の強度に関する情報)に基づいて、第1ビームスプリッター11aへの入射光の偏光状態(偏光度)を、ひいてはマスクMへの照明光の偏光状態を検知することができる。

[0047] また、偏光モニター11では、第1ビームスプリッター11aに対するP偏光が第2ビームスプリッター11bに対するS偏光になり且つ第1ビームスプリッター11aに対するS偏光が第2ビームスプリッター11bに対するP偏光になるように設定されている。その結果、第2光強度検出器11dの出力(第1ビームスプリッター11aおよび第2ビームスプリッター11bで順次反射された光の強度に関する情報)に基づいて、第1ビームスプリッター11aへの入射光の偏光状態の変化の影響を実質的に受けることなく、第1ビームスプリッター11aへの入射光の光量(強度)を、ひいてはマスクMへの照明光の光量を検知することができる。

[0048] こうして、偏光モニター11を用いて、第1ビームスプリッター11aへの入射光の偏光状態を検知し、ひいてはマスクMへの照明光が所望の非偏光状態、直線偏光状態または円偏光状態になっているか否かを判定することができる。そして、制御部が偏光モニター11の検知結果に基づいてマスクM(ひいてはウェハW)への照明光が所望の非偏光状態、直線偏光状態または円偏光状態になっていないことを確認した場合、偏光状態切換手段4を構成する1/4波長板4a、1/2波長板4bおよびデポラライザ4cを駆動調整し、マスクMへの照明光の状態を所望の非偏光状態、直線偏光状態または円偏光状態に調整することができる。

[0049] なお、輪帯照明用の回折光学素子5に代えて、4極照明用の回折光学素子(不図示)を照明光路中に設定することによって、4極照明を行うことができる。4極照明用の回折光学素子は、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、そのファーストフィールドに4極状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、4極照明用の回折光学素子を介した光束は、マイクロフライアイレンズ10の入射面に、たとえば光軸AXを中心とした4つの円形状の照野からなる4極状の照野を形成する。その結果、マイクロフライアイレンズ10の後側焦点面にも、その入射面に形成された照野と同じ4極状の二次光源が形成される。

[0050] また、輪帯照明用の回折光学素子5に代えて、円形照明用の回折光学素子(不図

示)を照明光路中に設定することによって、通常の円形照明を行うことができる。円形照明用の回折光学素子は、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、ファースフィールドに円形状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、円形照明用の回折光学素子を介した光束は、マイクロフライアイレンズ10の入射面に、たとえば光軸AXを中心とした円形状の照野からなる4極状の照野を形成する。その結果、マイクロフライアイレンズ10の後側焦点面にも、その入射面に形成された照野と同じ円形状の二次光源が形成される。

[0051] さらに、輪帯照明用の回折光学素子5に代えて、他の複数極照明用の回折光学素子(不図示)を照明光路中に設定することによって、様々な複数極照明(2極照明、8極照明など)を行うことができる。また、輪帯照明用の回折光学素子5に代えて、この回折光学素子5とは異なる輪帯比を有する輪帯状の光強度分布をそのファースフィールドに形成する回折光学素子(不図示)を照明光路中に設定することによって、輪帯比の可変範囲を広げることができる。同様に、輪帯照明用の回折光学素子5に代えて、適当な特性を有する回折光学素子(不図示)を照明光路中に設定することによって、様々な形態の変形照明を行うことができる。

[0052] 図5は、本実施形態にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図であって、マスクブラインドからウェハまでの構成を示している。図5を参照すると、本実施形態の露光装置では、複屈折素子21がマスクブラインド13と結像光学系14との間の光路中に配置され、旋光素子22が結像光学系14の光路中の所定位置に配置されている。本実施形態では、複屈折素子21と旋光素子22との協働作用により、光学系(照明光学系(2〜14)と投影光学系PLとの合成光学系)のレンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現している。

[0053] 以下、複屈折素子21および旋光素子22の一般的な作用、すなわち本発明の基本的な原理を説明する。本発明では、図6(a)に示すように光学系のレンズ開口内において円周方向に振動する直線偏光を周方向偏光と定義し、図6(b)に示すようにレンズ開口内において半径方向に振動する直線偏光を径方向偏光と定義する。この場合、大きな像側開口数を有する光学系における像面上での2光線の干渉性は、径方向偏光よりも周方向偏光の方が高い。したがって、レンズ開口内において光の偏光

状態をほぼ周方向偏光状態に設定することにより、像面上において高いコントラストの物体像を得ることができる。

- [0054] そこで、本発明では、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現するために、図7に示すように、たとえば物体側にテレセントリックな光学系の光路中の所定位に複屈折素子21と旋光素子22とを付設する。複屈折素子21は、たとえば水晶のような一軸性結晶により形成された平行平板状の光透過部材であって、その結晶光学軸が光軸AXと平行に配置されている。この場合、正の一軸性結晶により形成された複屈折素子21に球面波の光束を入射させると、図8(a)に示すように、光学系のレンズ開口内の進相軸分布として光軸AXを中心とする円周方向の分布が得られる。
- [0055] 一方、負の一軸性結晶により形成された複屈折素子21に球面波の光束を入射させると、図8(b)に示すように、光学系のレンズ開口内の進相軸分布として光軸AXを中心とする半径方向の分布が得られる。ここで、図9に示すようなレンズ開口内の偏光分布を有する円偏光状態で球面波の光束を複屈折素子21に入射させると、複屈折素子21を通過した光束に関して、図10(a)または(b)に示すようなレンズ開口内の偏光分布が得られる。
- [0056] なお、図10(a)に示す偏光分布は、図8(a)の進相軸分布に対応する複屈折素子21すなわち正の一軸性結晶により形成された複屈折素子21に、図9に示すような右廻り円偏光を入射させたときに得られる。一方、図10(b)に示す偏光分布は、図8(b)の進相軸分布に対応する複屈折素子21すなわち負の一軸性結晶により形成された複屈折素子21に、図9に示すような右廻り円偏光を入射させたときに得られる。
- [0057] 旋光素子22は、たとえば水晶のような旋光性を有する光学材料により形成された平行平板状の光透過部材であって、複屈折素子21よりも後側(像側)に配置されている。旋光素子22は、その結晶光学軸が光軸AXと平行に配置され、その厚さや光束の入射角度などに応じてレンズ開口内の偏光状態を所定角度だけ回転させる機能を有する。本発明では、旋光素子22の作用により、複屈折素子21を通過した光束の偏光状態を45度回転させる(すなわちレンズ開口内の偏光状態を45度回転させる)ことにより、図11に示すようなレンズ開口内の偏光分布が得られる。
- [0058] ただし、正の一軸性結晶により形成された複屈折素子21を用いる場合には、複屈

折素子21により図10(a)に示す偏光分布が得られるので、図11に示すようなレンズ開口内の偏光分布を得るには左廻りの旋光性を有する光学材料により形成された旋光素子22を用いる必要がある。一方、負の一軸性結晶により形成された複屈折素子21を用いる場合には、複屈折素子21により図10(b)に示す偏光分布が得られるので、図11に示すようなレンズ開口内の偏光分布を得るには右廻りの旋光性を有する光学材料により形成された旋光素子22を用いる必要がある。

[0059] 図11に示すレンズ開口内の偏光分布を参照すると、レンズ開口の中心(光軸AX)を通る光線は円偏光状態であり、開口周辺に向かって楕円偏光状態から直線偏光状態に変化し、偏光状態が光軸AXに関して回転対称に分布することがわかる。このように、図11に示すレンズ開口内の偏光分布では、レンズ開口内の全体に亘って周方向偏光状態(光軸AXを中心とした円周方向に振動する直線偏光状態)が実現されているわけではないが、少なくともレンズ開口の周辺領域では周方向偏光状態が実現されている。

[0060] ここで、レンズ開口の中央領域の光線よりもレンズ開口の周辺領域の光線の方が像形成時における干渉性の低下が大きいことを考慮すると、図11に示すようにレンズ開口の周辺領域において周方向偏光状態を実現している偏光分布は、物体像のコントラスト向上の観点から見れば、図6(a)に示すようにレンズ開口の全体に亘って周方向偏光状態を実現している偏光分布とほぼ等価である。こうして、本発明では、複屈折素子21と旋光素子22との協働作用により、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することができ、ひいては像面上において高いコントラストの物体像を得ることができる。なお、図11に示したレンズ開口内の偏光分布では、レンズ開口の最周辺の領域で周方向偏光状態を実現しているが、周方向偏光状態が実現できるレンズ開口内の領域については最周辺に限られず、必要に応じて適宜設定すれば良い。また、図11に示すようにレンズ開口の周辺領域において周方向偏光状態を実現している偏光分布と、輪帯照明、2極や4極等の複数極照明とを組み合わせれば、照明光束内の偏光分布がほぼ周方向偏光状態となるので、さらにコントラストの高い物体像を像面上において得ることができる。

[0061] なお、複屈折素子として、水晶以外の適当な光学材料、たとえば MgF_2 やライカフ(

LiCaAlF_6 (リチウムカルシウムアルミニウムフッライド)等の直線複屈折性を有する光学材料により形成された光透過部材を用いることができる。あるいは、複屈折素子として、たとえば蛍石のような立方晶系の結晶材料により形成された一対の光透過部材を用い、レンズ開口内の進相軸分布がほぼ円周方向の分布またはほぼ半径方向の分布となるように一対の光透過部材を位置決めしてもよい。

[0062] 具体的には、結晶方位 $\langle 111 \rangle$ が光軸とほぼ平行で且つ他の結晶方位が光軸を中心として約60度だけ相対回転した状態に配置された一対の光透過部材を、複屈折素子として用いることができる。この場合、一対の光透過部材からなる複屈折素子に球面波の光束を入射させると、正の一軸性結晶により形成された複屈折素子の場合と同様に、図8(a)に示すように光学系のレンズ開口内の進相軸分布として光軸AXを中心とする円周方向の分布が得られる。したがって、図9に示すような右廻り円偏光状態で球面波の光束を入射させると、図10(a)に示すようなレンズ開口内の偏光分布が得られる。

[0063] また、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ が光軸とほぼ平行で且つ他の結晶方位が光軸を中心として約45度だけ相対回転した状態に配置された一対の光透過部材を、複屈折素子として用いることができる。この場合、一対の光透過部材からなる複屈折素子に球面波の光束を入射させると、負の一軸性結晶により形成された複屈折素子の場合と同様に、図8(b)に示すように光学系のレンズ開口内の進相軸分布として光軸AXを中心とする半径方向の分布が得られる。したがって、図9に示すような右廻り円偏光状態で球面波の光束を入射させると、図10(b)に示すようなレンズ開口内の偏光分布が得られる。

[0064] 一軸性結晶により形成された複屈折素子、および立方晶系の結晶材料により形成された一対の光透過部材からなる複屈折素子は、入射角度に応じて複屈折量が変化する素子である。したがって、球面波の光束を入射させることにより、図8(a)または(b)に示すような進相軸分布を有する複屈折素子として機能し、図10(a)または(b)に示すようなレンズ開口内の偏光分布を得ることができる。なお、レンズ開口内の偏光分布を画面内でほぼ均一にするには、図7に示すように、ほぼテレセントリックな光路中に一軸性結晶の複屈折素子(または一対の光透過部材からなる複屈折素子)2

1を配置することが好ましい。

- [0065] 一方、旋光素子22は、レンズ開口内の偏光状態を一様に回転させることが好ましい。したがって、図7に示すように、光束の入射角度のばらつきが少ない個所に旋光素子22を配置することが好ましい。具体的には、入射角のばらつきが10度以内である光束が入射する位置に旋光素子22を配置することが好ましく、入射角のばらつきが7度以内である光束が入射する位置に旋光素子22を配置することがさらに好ましい。なお、水晶以外に、旋光性を有する適当な光学材料を用いて旋光素子22を形成することができる。
- [0066] 図5を再び参照すると、本実施形態の露光装置では、たとえば水晶のような一軸性結晶により形成された光透過部材からなる複屈折素子(あるいは、たとえば蛍石のような立方晶系の結晶材料により形成された一対の光透過部材からなる複屈折素子)21が、マスクブラインド13と結像光学系14との間の光路中、すなわち被照射面であるマスクMと光学的に共役な位置に配置されたマスクブラインド13の近傍のほぼテレセントリックな光路中に配置されている。また、たとえば水晶により形成された旋光素子22が、結像光学系14の光路中において、例えば入射角のばらつきが10度以内である光束が入射する位置に配置されている。
- [0067] この状態で、1/2波長板4bおよびデポライザ4cとともに照明光路から退避させ、且つ1/4波長板4aの結晶光学軸を入射する楕円偏光に対して所定の角度をなすように設定すると、円偏光状態ではほぼ球面波の光束が複屈折素子21に入射する。その結果、本実施形態では、レンズ開口内の進相軸分布をほぼ円周方向の分布またはほぼ半径方向の分布にするための複屈折素子21と、その後側に配置されてレンズ開口内の偏光状態を回転させるための旋光素子22との協働作用により、簡素な構成に基づいて、光量損失を抑えつつ、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することができる。したがって、本実施形態では、マスクMの微細パターンの高コントラスト像をウェハW上に形成し、高スループットで且つ忠実な露光を行うことができる。
- [0068] 図12は、本実施形態の第1変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。第1変形例では、マスクブラインド13からウェハWまでの構成が、図5に示

す実施形態と類似している。しかしながら、複屈折素子21が結像光学系14とマスクMとの間の光路中に配置され、旋光素子22が投影光学系PLの光路中の所定位置に配置されている点が、図5に示す実施形態と相違している。

[0069] すなわち、第1変形例では、複屈折素子21が、照明光学系(2-14)の光路中において、マスクMの近傍のほぼテレセントリックな光路中に配置されている。また、旋光素子22が、投影光学系PLの光路中において比較的マスクM側の位置、例えば入射角のばらつきが10度以内である光束が入射する位置に配置されている。その結果、第1変形例においても図5の実施形態と同様に、複屈折素子21と旋光素子22との協働作用により、簡素な構成に基づいて、光量損失を抑えつつ、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することができる。

[0070] 図13は、本実施形態の第2変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。第2変形例においても第1変形例と同様に、マスクブラインド13からウェハWまでの構成が、図5に示す実施形態と類似している。しかしながら、複屈折素子21がマスクMと投影光学系PLとの間の光路中に配置され、旋光素子22が投影光学系PLの光路中の所定位置に配置されている点が、図5に示す実施形態と相違している。

[0071] すなわち、第2変形例では、複屈折素子21が、投影光学系PLの光路中において、マスクMの近傍のほぼテレセントリックな光路中に配置されている。また、旋光素子22が、投影光学系PLの光路中において比較的マスクM側の位置、例えば入射角のばらつきが10度以内である光束が入射する位置に配置されている。その結果、第2変形例においても図5の実施形態と同様に、複屈折素子21と旋光素子22との協働作用により、簡素な構成に基づいて、光量損失を抑えつつ、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することができる。

[0072] 図14は、本実施形態の第3変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。第3変形例においても第1変形例および第2変形例と同様に、マスクブラインド13からウェハWまでの構成が、図5に示す実施形態と類似している。しかしながら、複屈折素子21がマスクMと投影光学系PLとの間の光路中に配置され、旋光素子22が投影光学系PLの光路中の所定位置に配置されている点が、図5に示す実施形

態と相違している。

- [0073] すなわち、第3変形例では第2変形例と同様に、複屈折素子21が、投影光学系PLの光路中において、マスクMの近傍のほぼテレセントリックな光路中(マスクM側にほぼテレセントリックな光路中)に配置されている。しかしながら、第2変形例とは異なり、旋光素子22が、投影光学系PLの光路中において比較的ウェハW側の位置、例えば入射角のばらつきが10度以内である光束が入射する位置に配置されている。その結果、第3変形例においても図5に示す実施形態と同様に、複屈折素子21と旋光素子22との協働作用により、簡素な構成に基づいて、光量損失を抑えつつ、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することができる。
- [0074] 図15は、本実施形態の第4変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。第4変形例は、マスクブラインド13からマスクMまでの構成が、図5に示す実施形態と類似している。しかしながら、図5の実施形態の投影光学系PLが屈折光学系であるのに対し、第4変形例の投影光学系PLは凹面反射鏡CMを含む3回結像型の反射屈折光学系である点が相違している。また、複屈折素子21が結像光学系14とマスクMとの間の光路中に配置され、旋光素子22が投影光学系PLの光路中の所定位置に配置されている点が、図5に示す実施形態と相違している。
- [0075] すなわち、第4変形例では、複屈折素子21が、照明光学系(2〜14)の光路中において、マスクMの近傍のほぼテレセントリックな光路中に配置されている。また、旋光素子22が、投影光学系PLの第1結像光学系G1の光路中において比較的マスクM側の位置、例えば入射角のばらつきが10度以内である光束が入射する位置に配置されている。その結果、第4変形例においても図5の実施形態と同様に、複屈折素子21と旋光素子22との協働作用により、簡素な構成に基づいて、光量損失を抑えつつ、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することができる。
- [0076] 図16は、本実施形態の第5変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。第5変形例は、マスクブラインド13からマスクMまでの構成が、図15の第4変形例と類似している。しかしながら、複屈折素子21がマスクMと投影光学系PLとの間の光路中に配置され、旋光素子22が投影光学系PLの光路中の所定位置に配置されている点が、図15の第4変形例と相違している。

- [0077] すなわち、第5変形例では、複屈折素子21が、投影光学系PLの光路中において、マスクMの近傍のほぼテレセントリックな光路中（マスクM側にほぼテレセントリックな光路中）に配置されている。また、旋光素子22が、投影光学系PLの第1結像光学系G1の光路中において比較的ウェハW側の位置、例えば入射角のばらつきが10度以内である光束が入射する位置に配置されている。その結果、第5変形例においても第4変形例と同様に、複屈折素子21と旋光素子22との協働作用により、簡素な構成に基づいて、光量損失を抑えつつ、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することができる。
- [0078] 図17は、本実施形態の第6変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。第6変形例は、マスクブラインド13からマスクMまでの構成が、図15の第4変形例と類似している。しかしながら、複屈折素子21および旋光素子22がともに投影光学系PLの光路中の所定位置に配置されている点が、図15の第4変形例と相違している。
- [0079] すなわち、第6変形例では、複屈折素子21が、第2結像光学系G2と第3結像光学系G3との間の光路中において、マスクMと光学的に共役な位置（マスクMの二次像が形成される位置）またはその近傍のほぼテレセントリックな光路中に配置されている。また、旋光素子22が、投影光学系PLの第3結像光学系G3の光路中において比較的ウェハW側の位置、例えば入射角のばらつきが10度以内である光束が入射する位置に配置されている。その結果、第6変形例においても第4変形例と同様に、複屈折素子21と旋光素子22との協働作用により、簡素な構成に基づいて、光量損失を抑えつつ、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することができる。また、第6変形例では、複屈折素子21が投影光学系PL中の光路折曲げ鏡よりもウェハW側の光路に配置されている。この構成の場合、光路折曲げ鏡に対するP偏光とS偏光との間で反射による位相差が生じたとしても、光路折曲げ鏡に照射される偏光状態を楕円偏光に設定しておけば、反射後の偏光状態をほぼ円偏光にすることが可能であるため、投影光学系に光路折曲げ鏡が配置される場合には、前述の第5変形例よりも好ましい。
- [0080] なお、図5の実施形態および第1変形例～第6変形例では、複屈折素子21として、

たとえば水晶のような一軸性結晶により形成された光透過部材またはたとえば蛍石のような立方晶系の結晶材料により形成された一対の光透過部材を用いている。しかしながら、これに限定されることなく、複屈折素子として、光軸に関してほぼ回転対称な内部応力を有する光透過部材、たとえば石英からなる平行平板のような光透過部材を用いることもできる。

[0081] この場合、光軸に関してほぼ回転対称な内部応力を有する光透過部材からなる複屈折素子に、ほぼ円偏光状態で平面波の光束を入射させると、図10(a)または(b)に示すようなレンズ開口内の偏光分布が得られる。なお、レンズ開口内の偏光分布を画面内でほぼ均一にするには、内部応力を有する光透過部材からなる複屈折素子を光学系の瞳の近傍(図5の実施形態では、たとえば結像光学系14の瞳の近傍であって旋光素子21よりも光源側の位置など)に配置することが好ましい。なお、たとえば石英からなる平行平板のような光透過部材にほぼ回転対称な内部応力を付与(所望の複屈折分布を付与)する方法の詳細については、たとえばWO03/007045号パンフレットを参照することができる。

[0082] また、図5の実施形態および第1変形例〜第6変形例では、間隔を隔てて配置された2つの素子、すなわち複屈折素子21と旋光素子22との協働作用により、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現している。しかしながら、直線複屈折性と旋光性とを有する光学材料により形成され且つ光学軸が光軸とほぼ平行に配置された複屈折旋光素子、たとえば水晶により形成された1つの平行平板状の光透過部材からなる複屈折旋光素子を用い、この複屈折旋光素子にほぼ円偏光状態の光束を入射させることにより、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することもできる。

[0083] この場合、複屈折旋光素子は、ほぼ球面波の光束が入射する位置に配置され、入射光束の外周領域の光束をレンズ開口においてほぼ円周方向に振動するほぼ直線偏光状態の光束に変換するための所要の厚さを有する。すなわち、複屈折旋光素子の外周領域へ円偏光で入射した光線が、複屈折性により直線偏光に変換され、且つ旋光性により偏光状態が45度回転するように、複屈折旋光素子の厚さと入射する光線の角度との関係が設定されている。

- [0084] 以下、図18に示すポアンカレ球を参照して、複屈折旋光素子内における偏光状態の変化を説明する。図18において、 S_1 , S_2 , S_3 は、偏光状態を示すストークスパラメータである。複屈折旋光素子では、A点(0, 0, 1)に対応する完全な円偏光状態で入射した光が、その複屈折性による S_1 軸周りの回転作用を受けるとともに、その旋光性による S_3 軸周りの回転作用を受けることにより、B点(1, 0, 0)に対応する周方向偏光状態に到達する。
- [0085] ちなみに、前述した複屈折素子21では、A点(0, 0, 1)に対応する完全な円偏光状態で入射した光が、その複屈折性による S_1 軸周りの回転作用のみにより、B'点(0, 1, 0)に到達することになる。なお、複屈折旋光素子における回転量と複屈折量とを調整するために、右廻りの旋光性を有する光学材料(たとえば右廻り水晶)により形成された第1光透過部材と、左廻りの旋光性を有する光学材料(たとえば左廻り水晶)により形成された第2光透過部材とにより複屈折旋光素子を構成することが好ましい。
- [0086] 図19は、本実施形態の第7変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。第7変形例は、マスクブラインド13からマスクMまでの構成が、図5に示す実施形態と類似している。しかしながら、複屈折素子21および旋光素子22に代えて、複屈折旋光素子23がマスクブラインド13と結像光学系14との間の光路中に配置されている点が、図5に示す実施形態と相違している。
- [0087] すなわち、第7変形例では、複屈折旋光素子23が、照明光学系(2-14)の光路中において、被照射面であるマスクMと光学的に共役な位置に配置されたマスクブラインド13の近傍のほぼテレセントリックな光路中に配置されている。その結果、第7変形例では、複屈折旋光素子23の作用により、図5の実施形態の場合と同様に、簡素な構成に基づいて、光量損失を抑えつつ、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することができる。
- [0088] 図20は、本実施形態の第8変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。第8変形例は、マスクブラインド13からマスクMまでの構成が、図19の第7変形例と類似している。しかしながら、複屈折旋光素子23が結像光学系14とマスクMとの間の光路中に配置されている点が、第7変形例と相違している。すなわち、第

8変形例では、複屈折旋光素子23が、照明光学系(2ー14)の光路中において、マスクMの近傍のほぼテレセントリックな光路中に配置されている。その結果、第8変形例においても第7変形例と同様に、複屈折旋光素子23の作用により、簡素な構成に基づいて、光量損失を抑えつつ、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することができる。

[0089] 図21は、本実施形態の第9変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。第9変形例は、マスクブラインド13からマスクMまでの構成が、図19の第7変形例と類似している。しかしながら、複屈折旋光素子23がマスクMと投影光学系P Lとの間の光路中に配置されている点が、第7変形例と相違している。すなわち、第9変形例では、複屈折旋光素子23が、投影光学系PLの光路中において、マスクMの近傍のほぼテレセントリックな光路中(マスクM側にほぼテレセントリックな光路中)に配置されている。その結果、第9変形例においても第7変形例と同様に、複屈折旋光素子23の作用により、簡素な構成に基づいて、光量損失を抑えつつ、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することができる。

[0090] 図22は、本実施形態の第10変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。第10変形例は、マスクブラインド13からマスクMまでの構成が、図19の第7変形例と類似している。しかしながら、複屈折旋光素子23が投影光学系PLとウェハWとの間の光路中に配置されている点が、第7変形例と相違している。すなわち、第10変形例では、複屈折旋光素子23が、投影光学系PLの光路中において、ウェハWの近傍のほぼテレセントリックな光路中(ウェハW側にほぼテレセントリックな光路中)に配置されている。その結果、第10変形例においても第7変形例と同様に、複屈折旋光素子23の作用により、簡素な構成に基づいて、光量損失を抑えつつ、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することができる。

[0091] 図23は、本実施形態の第11変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。第11変形例は、マスクブラインド13からマスクMまでの構成が、図15の第4変形例と類似している。しかしながら、複屈折素子21および旋光素子22に代えて、複屈折旋光素子23が結像光学系14とマスクMとの間の光路中に配置されている点が、第4変形例と相違している。すなわち、第11変形例では、複屈折旋光素子2

3が、照明光学系(2ー14)の光路中において、マスクMの近傍のほぼテレセントリックな光路中に配置されている。その結果、第11変形例においても第4変形例と同様に、複屈折旋光素子23の作用により、簡素な構成に基づいて、光量損失を抑えつつ、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することができる。

[0092] 図24は、本実施形態の第12変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。第12変形例は、マスクブラインド13からマスクMまでの構成が、図23の第11変形例と類似している。しかしながら、複屈折旋光素子23が結像光学系14とマスクMとの間の光路中に配置されている点が、第11変形例と相違している。すなわち、第11変形例では、複屈折旋光素子23が、第2結像光学系G2と第3結像光学系G3との間の光路中において、マスクMと光学的に共役な位置(マスクMの二次像が形成される位置)またはその近傍のほぼテレセントリックな光路中に配置されている。その結果、第12変形例においても第11変形例と同様に、複屈折旋光素子23の作用により、簡素な構成に基づいて、光量損失を抑えつつ、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することができる。

[0093] 図25は、本実施形態の第13変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。第13変形例は、マスクブラインド13からマスクMまでの構成が、図23の第11変形例と類似している。しかしながら、複屈折旋光素子23が投影光学系PLとウェハWとの間の光路中に配置されている点が、第11変形例と相違している。すなわち、第13変形例では、複屈折旋光素子23が、投影光学系PLの光路中において、ウェハWの近傍のほぼテレセントリックな光路中(ウェハW側にはほぼテレセントリックな光路中)に配置されている。その結果、第13変形例においても第11変形例と同様に、複屈折旋光素子23の作用により、簡素な構成に基づいて、光量損失を抑えつつ、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することができる。また、第12変形例および第13変形例では、複屈折旋光素子23が投影光学系PL中の光路折曲げ鏡よりもウェハW側の光路に配置されている。この構成の場合、前述の第6変形例と同様に、光路折曲げ鏡に対するP偏光とS偏光との間で反射による位相差が生じたとしても、光路折曲げ鏡に照射される偏光状態を楕円偏光に設定しておけば、反射後の偏光状態をほぼ円偏光にすることが可能であるため、投影光学系に光路折曲げ鏡

が配置される場合には、前述の第11変形例よりも好ましい。

[0094] 図26は、本実施形態の第14変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。第14変形例は、マスクブラインド13からマスクMまでの構成が、図25に示す実施形態と類似している。しかしながら、図25の実施形態の露光装置ではマスクMを円偏光で照明するのに対し、第14変形例の露光装置ではマスクMを直線偏光で照明する点、並びに図25の実施形態の投影光学系PLが凹面反射鏡CMおよび2つの光路折り曲げ鏡を含む3回結像型の反射屈折光学系であるのに対し、第14変形例の投影光学系PLが凹面反射鏡CM、偏光ビームスプリッターPBSおよび1つの光路折り曲げ鏡FMを含む2回結像型の反射屈折光学系である点が相違している。

[0095] 図26において、第14変形例の投影光学系PLは、マスクM側およびウェハW側がテレセントリックな光学系であって、マスクMの中間像を形成する第1結像光学系G1と、この中間像の像を感光性基板としてのウェハW上に形成する第2結像光学系G2とを備えている。

[0096] そして、第1結像光学系G1は、最もマスク側に配置される第1レンズ群（マスク側フィールドレンズ群）、この第1レンズ群を介した直線偏光の光束を反射する偏光ビームスプリッターPBS、この偏光ビームスプリッターPBSで反射された直線偏光の光束を円偏光の光束に変換する第1の1/4波長板QW1、第1の1/4波長板QW1を介した光束を反射する凹面反射鏡CM、凹面反射鏡CMと第1の1/4波長板QW1との間の光路中に配置される負レンズ群、この負レンズ群および第1の1/4波長板を介して偏光ビームスプリッターPBSを透過する直線偏光の光束を円偏光の光束に変換する第2の1/4波長板QW2、偏光ビームスプリッターPBSからの光束の光路をほぼ90度偏向させる光路折り曲げ鏡FM、偏光ビームスプリッターPBSと中間結像点との間に配置された正レンズ群（中間像側フィールドレンズ群）を備えている。なお、この中間像側フィールドレンズ群によって、第1結像光学系G1の中間像側の光路（第1結像光学系G1と第2結像光学系G2との間の光路）はほぼテレセントリックとなっている。

[0097] また、第2結像光学系G2は、図14に示した第4変形例の屈折型投影光学系PLと

類似の構造を有しており、複屈折素子21が第2結像光学系G2と中間結像点との間の光路中に配置され、旋光素子22が第2結像光学系G2の光路中の所定位置、好ましくは開口絞りASの近傍の位置に配置されている。

[0098] そして、マスクMからの直線偏光光は、第1レンズ群を通過した後、偏光ビームスプリッターPBSで反射された後、第1の1/4波長板QW1を通過して円偏光に変換され、負レンズ群を介して凹面反射鏡CMに達する。凹面反射鏡CMで反射された円偏光の光束は、再び負レンズ群を介した後、第1の1/4波長板QW1を通過して、直線偏光に変換されて偏光ビームスプリッターPBSを透過し、第2の1/4波長板QW2に達する。この光束は第2の1/4波長板QW2によって直線偏光に変換された後、光路折曲げ鏡FMにて反射され、中間像側フィールドレンズ群である正レンズ群を介して、マスクMの中間像を形成する。そして、この中間像からの光は、複屈折素子21を介して第2結像光学系G2に入射し、この第2結像光学系G2中の旋光素子22を通過した後、像面にマスクMの2次像である縮小像を形成する。この縮小像はマスクMの裏像(紙面内方向における横倍率が負、紙面垂直方向における横倍率が正の像)となる。

[0099] 第14変形例では、複屈折素子21が投影光学系PLの光路中において、中間結像点近傍のほぼテレセントリックな光路中に配置されている。また、旋光素子22が、投影光学系PLの瞳位置近傍に配置されている。その結果、第14変形例においても図25の実施形態と同様に、複屈折素子21と旋光素子22との協働作用により、簡素な構成に基づいて、光量損失を抑えつつ、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することができる。

[0100] なお、第14変形例では、光路折曲げ鏡FMに入射する光束が光路折曲げ鏡FMの反射面に対してP偏光またはS偏光となる直線偏光であるため、光路折曲げ鏡FMの反射面での位相とびの影響を低減することが可能となる。また、第14変形例において、照明光学系でマスクMを円偏光で照明しても良く、この場合、投影光学系PL中のマスクMと偏光ビームスプリッターPBSとの間の光路中に第3の1/4波長板を配置して、偏光ビームスプリッターへ直線偏光を導くように構成すれば良い。また、第14変形例では、マスクMからの光束を偏光ビームスプリッターPBSで反射するように

構成しているが、マスクMからの光束を偏光ビームスプリッターPBSで通過させるように(マスクMから凹面反射鏡CMまでの光学系が一直線上に並ぶように)構成しても良い。

- [0101] 図27は、本実施形態の第15変形例にかかる露光装置の要部構成を概略的に示す図である。第15変形例は、マスクブラインド13からマスクMまでの構成および中間結像点からウェハWまでの構成が図26に示す実施形態(第14変形例)と類似している。しかしながら、第14変形例の投影光学系PLがマスクMからの光束を3回反射してウェハWへ導くのに対し、第15変形例の投影光学系PLがマスクMからの光束を4回反射してウェハWへ導く点が相違している。
- [0102] 図27において、第15変形例の投影光学系PLは、第14変形例の投影光学系PLと同様に、マスクM側およびウェハW側がテレセントリックな光学系であって、マスクMの中間像を形成する第1結像光学系G1と、この中間像の像を感光性基板としてのウェハW上に形成する第2結像光学系G2とを備えている。
- [0103] そして、第1結像光学系G1は、最もマスク側に配置される第1レンズ群(マスク側フィールドレンズ群)、この第1レンズ群を介した直線偏光の光束を反射する第1の偏光分離面PBS1を有する偏光ビームスプリッターPBS、この第1の偏光分離面PBS1で反射された直線偏光の光束を円偏光の光束に変換する第1の1/4波長板QW1、第1の1/4波長板QW1を介した光束を反射する凹面反射鏡CM、凹面反射鏡CMと第1の1/4波長板QW1との間の光路中に配置される負レンズ群、この負レンズ群および第1の1/4波長板を介して第1の偏光分離面PBS1を透過する直線偏光の光束を通過させる第2の偏光分離面PBS2、第2の偏光分離面PBS2を透過した直線偏光の光束を円偏光の光束に変換する第2の1/4波長板QW2、第2の1/4波長板QW2からの円偏光の光束を折り返す平面反射面を備えた折り返し鏡RM、第2の1/4波長板QW2を往復通過して第2の偏光分離面PBS2で反射される直線偏光の光束を円偏光の光束に変換する第3の1/4波長板QW3、第2の偏光分離面PBS2と中間結像点との間に配置された正レンズ群(中間像側フィールドレンズ群)を備えている。なお、この中間像側フィールドレンズ群によって、第1結像光学系G1の中間像側の光路(第1結像光学系G1と第2結像光学系G2との間の光路)はほぼテレセ

ントリックとなっている。

[0104] また、第2結像光学系G2は、図26に示した第14変形例の屈折型投影光学系PLと類似の構造を有しており、複屈折素子21が第2結像光学系G2と中間結像点との間の光路中に配置され、旋光素子22が第2結像光学系G2の光路中の所定位置、好ましくは開口絞りASの近傍の位置に配置されている。

[0105] そして、マスクMからの直線偏光の光束は、第1レンズ群を通過した後、偏光ビームスプリッターPBSの第1の偏光分離面PBS1で反射された後、第1の1/4波長板QW1を通過して円偏光に変換され、負レンズ群を介して凹面反射鏡CMに達する。凹面反射鏡CMで反射された円偏光の光束は、再び負レンズ群を介した後、第1の1/4波長板QW1を通過して、直線偏光に変換されて偏光ビームスプリッターPBSの第1の偏光分離面PBS1と第2の偏光分離面PBS2とを透過し、第2の1/4波長板QW2に達する。この光束は第2の1/4波長板QW2によって円偏光に変換された後、折り返し鏡RMに達する。折り返し鏡RMで反射された円偏光の光束は、第2の1/4波長板QW2を介して直線偏光に変換された後、偏光ビームスプリッターPBSの第2の偏光分離面PBS2で反射されて、第3の1/4波長板QW3に達する。第3の1/4波長板QW3に入射する直線偏光の光束は、この第3の1/4波長板QW3により円偏光の光束に変換された後、中間像側フィールドレンズ群である正レンズ群を介して、マスクMの中間像を形成する。そして、この中間像からの光は、複屈折素子21を介して第2結像光学系G2に入射し、この第2結像光学系G2中の旋光素子を通過した後、像面にマスクMの2次像である縮小像を形成する。この縮小像はマスクMの表像（紙面内方向における横倍率が正、紙面垂直方向における横倍率が正の像、正立正像）となる。

[0106] 第15変形例においても、複屈折素子21が投影光学系PLの光路中において、中間結像点近傍のほぼテレセントリックな光路中に配置されている。また、旋光素子22が、投影光学系PLの瞳位置近傍に配置されている。その結果、第15変形例では図26の実施形態と同様に、複屈折素子21と旋光素子22との協働作用により、簡素な構成に基づいて、光量損失を抑えつつ、レンズ開口内においてほぼ周方向偏光状態を実現することができる。

- [0107] また、第15変形例において、照明光学系でマスクMを円偏光で照明しても良く、この場合、投影光学系PL中のマスクMと偏光ビームスプリッターPBSとの間の光路中に第3の1/4波長板を配置して、偏光ビームスプリッターPBSへ直線偏光を導くように構成すれば良い。また、第15変形例では、マスクMからの光束を偏光ビームスプリッターPBSの第1の偏光分離面PBS1で反射するように構成しているが、マスクMからの光束を第1の偏光分離面PBS1で通過させるように（マスクMから凹面反射鏡CMまでの光学系が一直線上に並ぶように）構成しても良い。また、第15変形例では、折り返し鏡RMからの光束を偏光ビームスプリッターPBSの第2の偏光分離面PBS2で反射するように構成しているが、折り返し鏡からの光束が第2の偏光分離面PBS2を透過するように（折り返し鏡RMからウェハWまでの光学系が一直線上に並ぶように）構成しても良い。このとき、第1の偏光分離面PBS1からの光束は第2の偏光分離面PBS2で反射されることになる。
- [0108] なお、上述のような偏光状態切換手段4による偏光状態の制御、回折光学素子の交換動作の制御、輪帯比変更手段としてのアキシコン系8の動作の制御については、マスクM上の露光対象とするパターンの形状に応じて適宜制御すれば良い。なお、上述の実施形態および変形例において、偏光状態切換手段4の作用により直線偏光状態や非偏光状態に設定したときに、マスクMとウェハWとの間の光路中に配置された複屈折素子21や複屈折旋光素子23が偏光状態に影響を及ぼすことが考えられる。その場合には、必要に応じて、複屈折素子21や複屈折旋光素子23を光路から退避させたり、複屈折素子21や複屈折旋光素子23を複屈折性のない光透過部材（たとえば石英により形成された平行平板など）と交換したりしてもよい。このような複屈折素子21や複屈折旋光素子23の退避動作や交換動作についても、上述の制御と同期して制御すれば良い。
- [0109] 上述の実施形態にかかる露光装置では、照明光学装置によってマスク（レチクル）を照明し（照明工程）、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する（露光工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。以下、上述の実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形

成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図28のフローチャートを参照して説明する。

- [0110] まず、図28のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップ303において、上述の実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。
- [0111] また、上述の実施形態の露光装置では、プレート(ガラス基板)上に所定のパターン(回路パターン、電極パターン等)を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図29のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図29において、パターン形成工程401では、上述の実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板(レジストが塗布されたガラス基板等)に転写露光する、所謂光リソグラフィー工程が実行される。この光リソグラフィー工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。
- [0112] 次に、カラーフィルター形成工程402では、R(Red)、G(Green)、B(Blue)に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターン

を有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル(液晶セル)を組み立てる。

[0113] セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル(液晶セル)を製造する。その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル(液晶セル)の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

[0114] なお、上述の実施形態では、露光光としてKrFエキシマレーザ光(波長:248nm)やArFエキシマレーザ光(波長:193nm)を用いているが、これに限定されることなく、他の適当なレーザ光源、たとえば波長157nmのレーザ光を供給するF₂レーザ光源などに対して本発明を適用することもできる。さらに、上述の実施形態では、照明光学装置を備えた露光装置を例にとりて本発明を説明したが、マスクやウェハ以外の被照射面を照明するための一般的な照明光学装置に本発明を適用することができることは明らかである。

[0115] また、上述の実施形態において、投影光学系と感光性基板との間の光路中を1.1よりも大きな屈折率を有する媒体(典型的には液体)で満たす手法、所謂液浸法を適用しても良い。投影光学系と感光性基板表面に塗布されたレジストなどの感光性材料との間が液体で満たされている場合、投影光学系と感光性基板表面に塗布されたレジストとの間が空気(気体)で満たされている場合に比べて、コントラストの向上に寄与するS偏光成分(TE偏光成分)の回折光のレジスト表面での透過率が高くなるため、投影光学系の開口数NAが1.0を超えるような場合でも高い結像性能を得ることができる。この場合、投影光学系と感光性基板との間の光路中に液体を満たす手法としては、国際公開番号WO99/49504号公報に開示されているような局所的に液体を満たす手法や、特開平6-124873号公報に開示されているような露光対象の基板を保持したステージを液槽の中で移動させる手法や、特開平10-303114号公報に開示されているようなステージ上に所定深さの液体槽を形成し、その中に基板を

保持する手法などを採用することができる。

- [0116] なお、液体としては、露光光に対する透過性があるだけ屈折率が高く、投影光学系や基板表面に塗布されているフォトリソグに対して安定なものを用いることが好ましく、たとえばKrFエキシマレーザ光やArFエキシマレーザ光を露光光とする場合には、液体として純水、脱イオン水を用いることができる。また、露光光としてF₂レーザ光を用いる場合は、液体としてはF₂レーザ光を透過可能な例えばフッ素系オイルや過フッ化ポリエーテル(PFPE)等のフッ素系の液体を用いればよい。また、本発明は、ツインステージ型の露光装置にも適用できる。ツインステージ型の露光装置の構造及び露光動作は、例えば特開平10-163099号及び特開平10-214783号(対応米国特許6,341,007号、6,400,441号、6,549,269号及び6,590,634号)、特表2000-505958号(対応米国特許5,969,441号)あるいは米国特許6,208,407号に開示されている。

符号の説明

- [0117] 1 光源
4 偏光状態切換手段
4a 1/4波長板
4b 1/2波長板
4c デポラライザ
5, 50 回折光学素子(光束変換素子)
6 アフォーカルレンズ
8 円錐アキシコン系
9 ズームレンズ
10 マイクロフライアイレンズ
11 偏光モニター
11a ビームスプリッター
12 コンデンサー光学系
13 マスクブラインド
14 結像光学系

21 複屈折素子

22 旋光素子

23 複屈折旋光素子

M マスク

PL 投影光学系

W ウェハ

請求の範囲

- [1] レンズ開口内の進相軸分布をほぼ円周方向の分布またはほぼ半径方向の分布にするための複屈折素子と、該複屈折素子の後側に配置されて前記レンズ開口内の偏光状態を回転させるための旋光素子とを備えていることを特徴とする光学系。
- [2] 前記複屈折素子は、一軸性結晶材料により形成され且つ結晶光学軸が光軸とほぼ平行に配置された光透過部材を有し、
前記光透過部材には、ほぼ円偏光状態でほぼ球面波の光束が入射することを特徴とする請求項1に記載の光学系。
- [3] 前記複屈折素子は、立方晶系の結晶材料により形成された少なくとも一对の光透過部材を有し、
前記一对の光透過部材は、レンズ開口内の進相軸分布がほぼ円周方向の分布またはほぼ半径方向の分布となるように位置決めされ、
前記一对の光透過部材には、ほぼ円偏光状態でほぼ球面波の光束が入射することを特徴とする請求項1に記載の光学系。
- [4] 前記一对の光透過部材は、結晶方位 $\langle 111 \rangle$ が光軸とほぼ平行で且つ他の結晶方位が前記光軸を中心として約60度だけ相対回転した状態で配置されていることを特徴とする請求項3に記載の光学系。
- [5] 前記一对の光透過部材は、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ が光軸とほぼ平行で且つ他の結晶方位が前記光軸を中心として約45度だけ相対回転した状態で配置されていることを特徴とする請求項3に記載の光学系。
- [6] 前記複屈折素子は、前記光学系の瞳の近傍に配置されて光軸に関してほぼ回転対称な内部応力を有する光透過部材を有し、
前記光透過部材には、ほぼ円偏光状態の光束が入射することを特徴とする請求項1に記載の光学系。
- [7] 前記旋光素子は、入射角のばらつきが10度以内である光束が入射する位置に配置されていることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の光学系。
- [8] 前記旋光素子は、前記レンズ開口内の偏光状態を約45度回転させることを特徴とする請求項1乃至7のいずれか1項に記載の光学系。

- [9] 前記光学系は、第1面の像を第2面上に形成するための投影光学系を有することを特徴とする請求項1乃至8のいずれか1項に記載の光学系。
- [10] 前記投影光学系は、前記第1面側にほぼテレセントリックに構成され、
前記複屈折素子は、前記第1面側にほぼテレセントリックな光路中に配置されていることを特徴とする請求項9に記載の光学系。
- [11] 前記光学系は、被照射面をほぼテレセントリックに照明するための照明光学系を有することを特徴とする請求項1乃至8のいずれか1項に記載の光学系。
- [12] 前記複屈折素子は、前記照明光学系の光路中において、前記被照射面と光学的に共役な位置またはその近傍に配置されていることを特徴とする請求項11に記載の光学系。
- [13] 前記光学系は、第1面をほぼテレセントリックに照明するための照明光学系と、前記第1面の像を第2面上に形成するための投影光学系とを有することを特徴とする請求項1乃至8のいずれか1項に記載の光学系。
- [14] 前記複屈折素子は、前記照明光学系の光路中に配置され、
前記旋光素子は、前記投影光学系の光路中に配置されていることを特徴とする請求項13に記載の光学系。
- [15] 前記複屈折素子は、前記照明光学系の光路中において、前記第1面の近傍、あるいは前記第1面と光学的に共役な位置またはその近傍に配置されていることを特徴とする請求項14に記載の光学系。
- [16] 直線複屈折性と旋光性とを有する光学材料により形成され且つ光学軸が光軸とほぼ平行に配置された複屈折旋光素子を備え、
前記複屈折旋光素子には、ほぼ円偏光状態の光束が入射することを特徴とする光学系。
- [17] 前記複屈折旋光素子は、ほぼ球面波の光束が入射する位置に配置され、入射光束の外周領域の光束をレンズ開口においてほぼ円周方向に振動するほぼ直線偏光状態の光束に変換するための所要の厚さを有することを特徴とする請求項16に記載の光学系。
- [18] 前記複屈折旋光素子は、右廻りの旋光性を有する光学材料により形成された第1光

透過部材と、左廻りの旋光性を有する光学材料により形成された第2光透過部材とを有することを特徴とする請求項16または17に記載の光学系。

[19] 前記光学系は、第1面の像を第2面上に形成するための投影光学系を有することを特徴とする請求項16乃至18のいずれか1項に記載の光学系。

[20] 前記投影光学系は、前記第1面側にほぼテレセントリックに構成され、
前記複屈折旋光素子は、前記第1面側にほぼテレセントリックな光路中に配置されていることを特徴とする請求項19に記載の光学系。

[21] 前記投影光学系は、前記第2面側にほぼテレセントリックに構成され、
前記複屈折旋光素子は、前記第2面側にほぼテレセントリックな光路中に配置されていることを特徴とする請求項19に記載の光学系。

[22] 前記光学系は、被照射面をほぼテレセントリックに照明するための照明光学系を有することを特徴とする請求項16乃至18のいずれか1項に記載の光学系。

[23] 前記複屈折旋光素子は、前記照明光学系の光路中において、前記被照射面の近傍、あるいは前記被照射面と光学的に共役な位置またはその近傍に配置されていることを特徴とする請求項22に記載の光学系。

[24] 前記照明光学系は、所定の光強度分布を有する二次光源を照明瞳面に形成し、
前記二次光源の前記所定の光強度分布は、前記照明瞳上の領域であって光軸を含む瞳中心領域での光強度が該瞳中心領域の周囲の領域での光強度よりも小さく設定されていることを特徴とする請求項11乃至15、22および23のいずれか1項に記載の光学系。

[25] 前記二次光源の前記所定の光強度分布は、輪帯状または多極状の光強度分布を有することを特徴とする請求項24に記載の光学系。

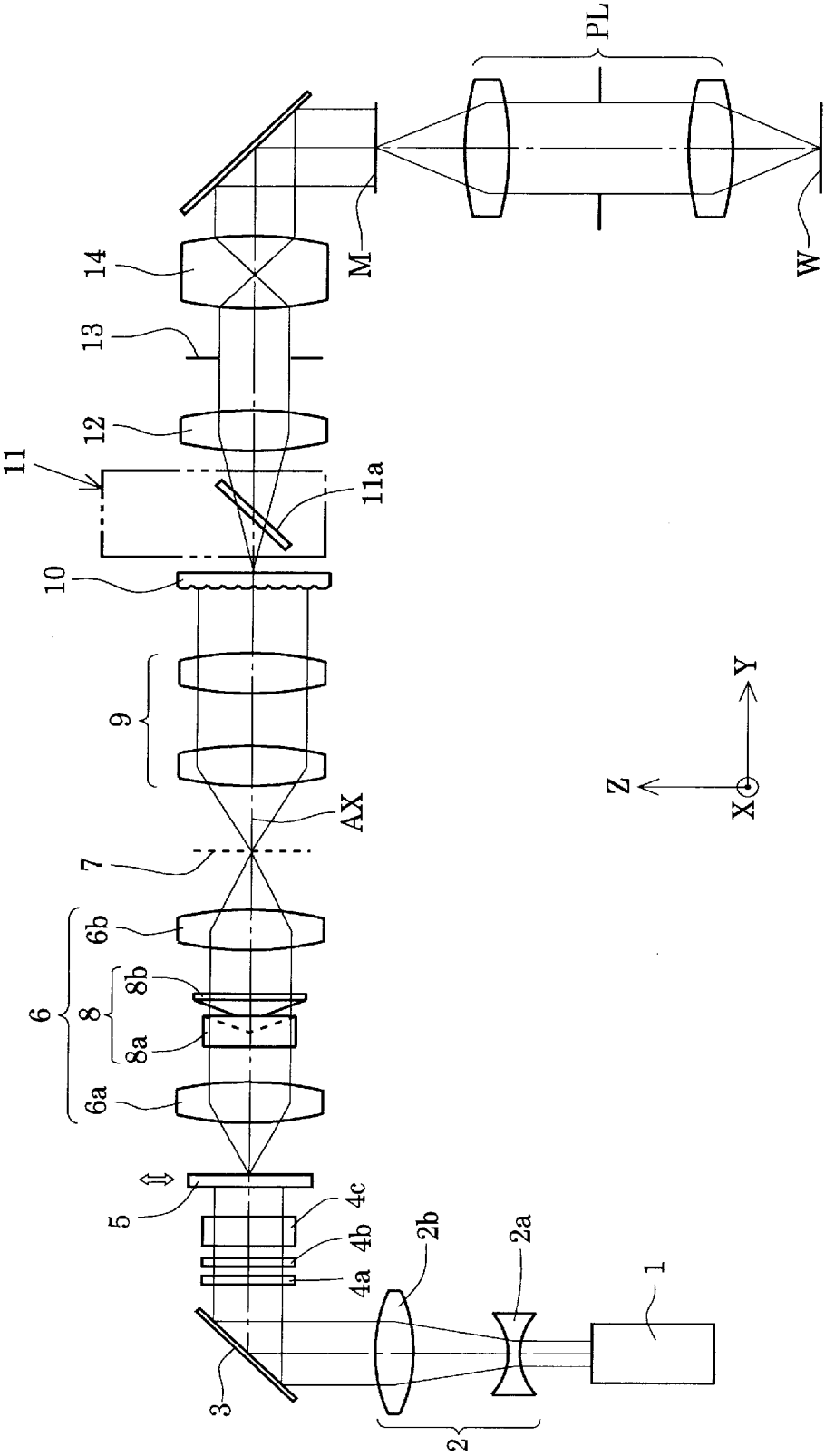
[26] 請求項1乃至25のいずれか1項に記載の光学系を備え、該光学系を介してマスクのパターンを感光性基板上に露光することを特徴とする露光装置。

[27] 転写用のパターンを、請求項1乃至25のいずれか1項に記載の光学系を介して、感光性基板上に露光することを特徴とする露光方法。

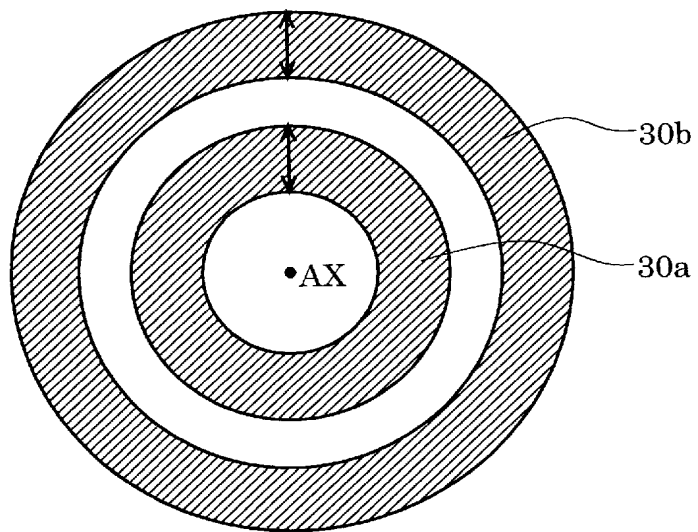
[28] 転写用のパターンを、請求項1乃至25のいずれか1項に記載の光学系を介して、感光性基板上に露光することを特徴とするデバイスの製造方法。

- [29] 前記光学系はリソグラフィー用光学系であることを特徴とする請求項1乃至25のいずれか1項に記載の光学系。

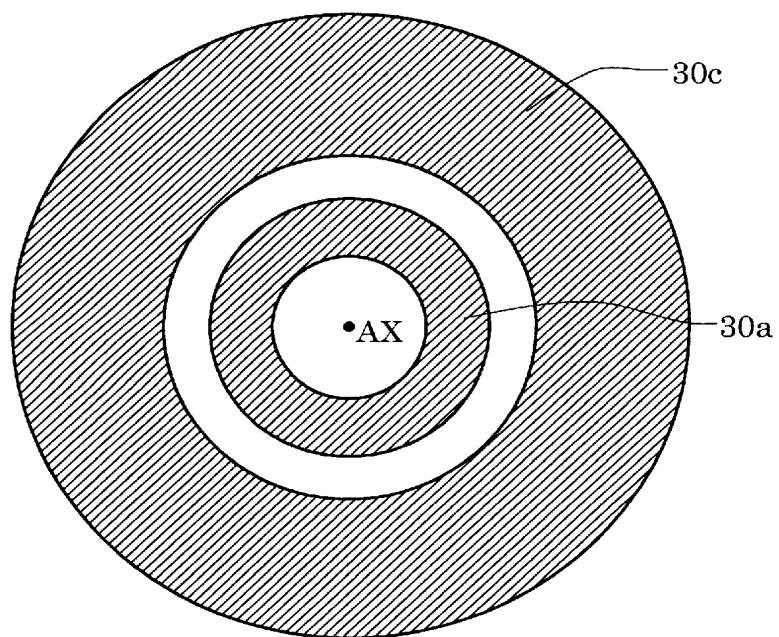
[図1]



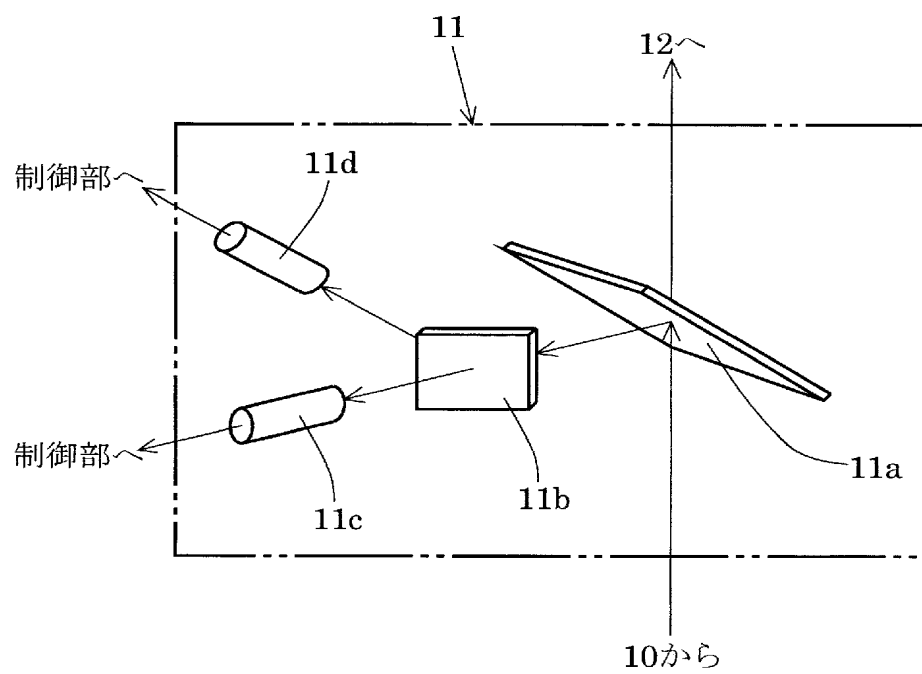
[図2]



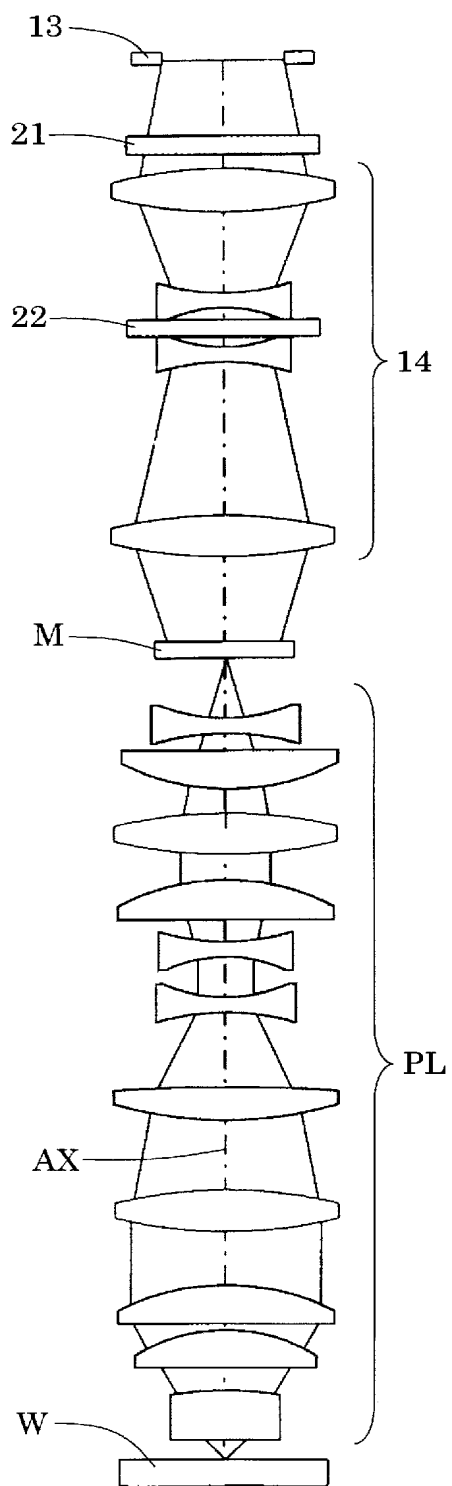
[図3]



[図4]

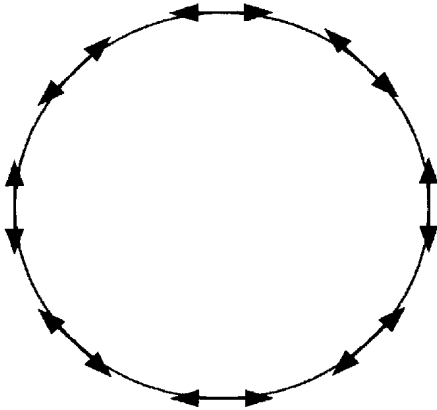


[図5]

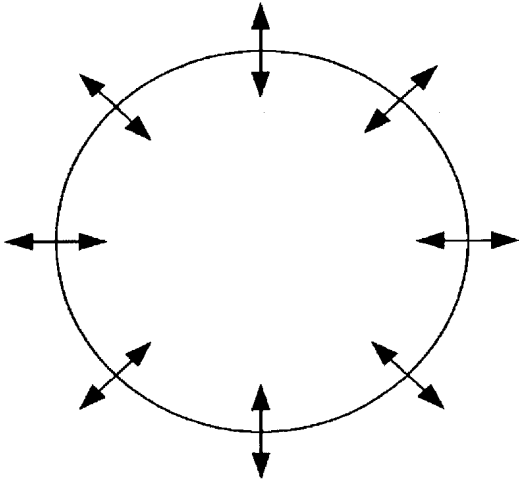


[図6]

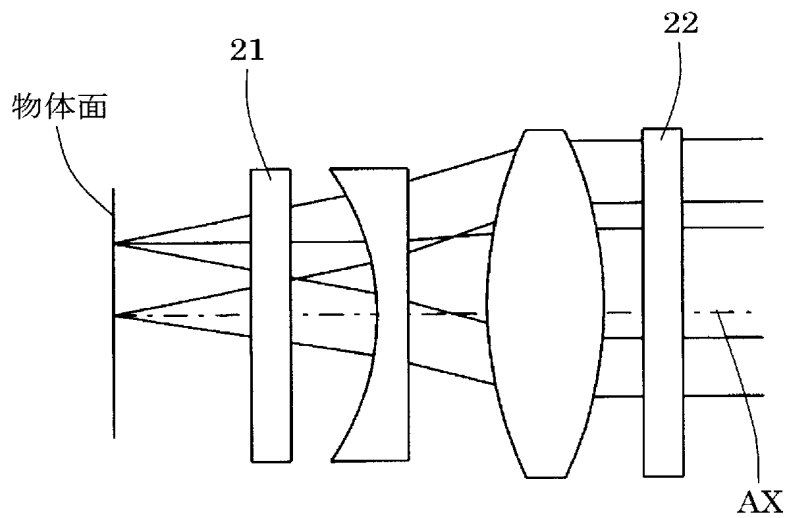
(a)



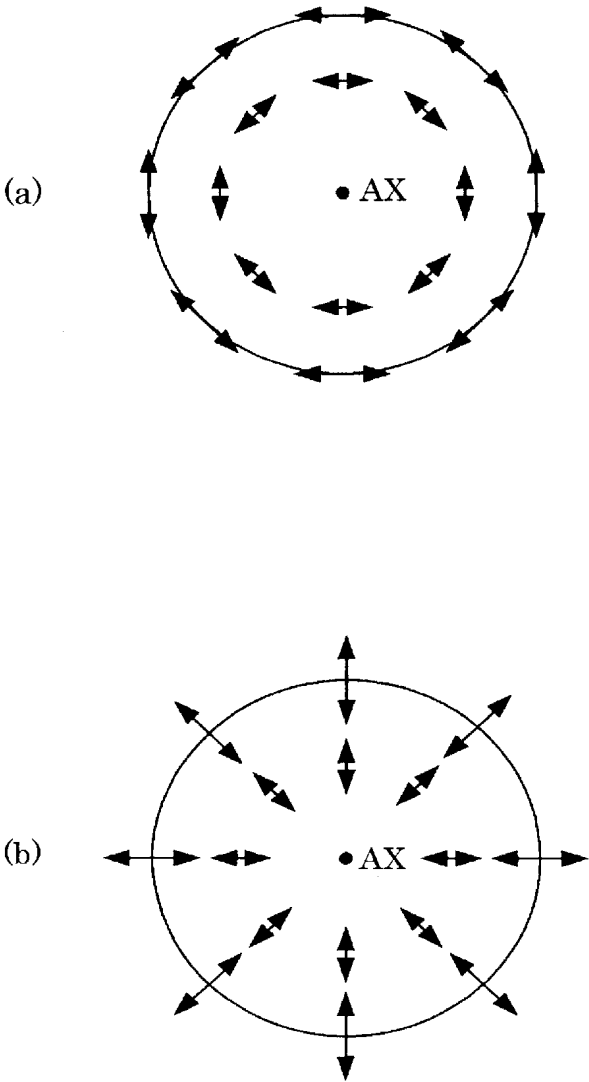
(b)



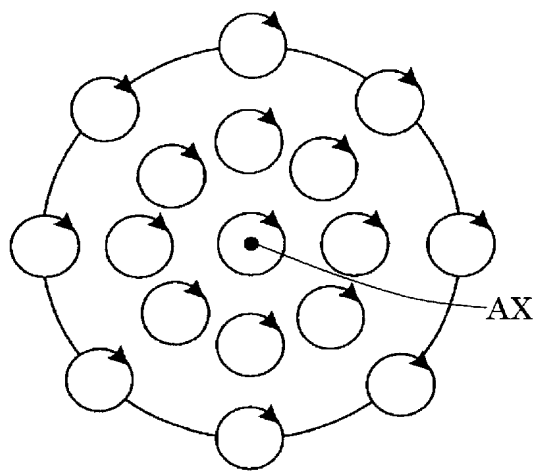
[図7]



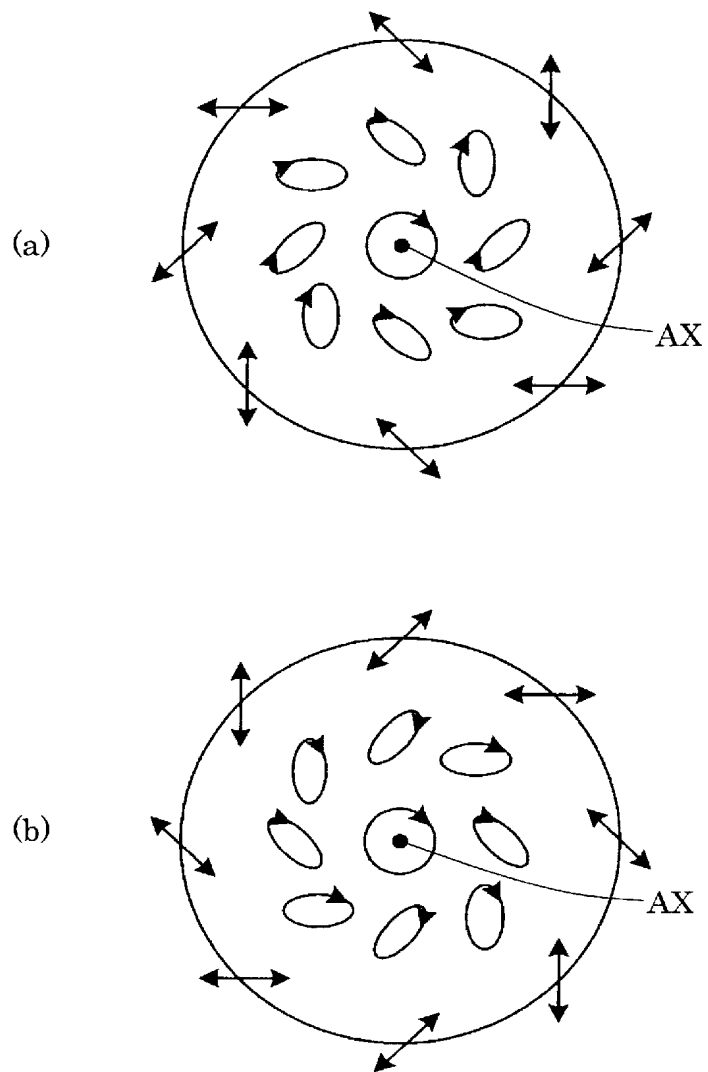
[図8]



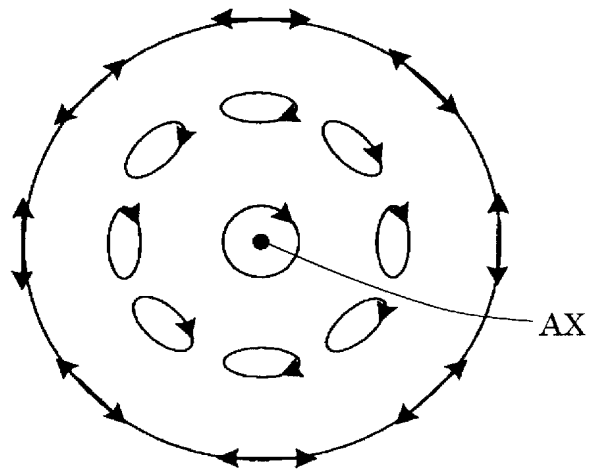
[図9]



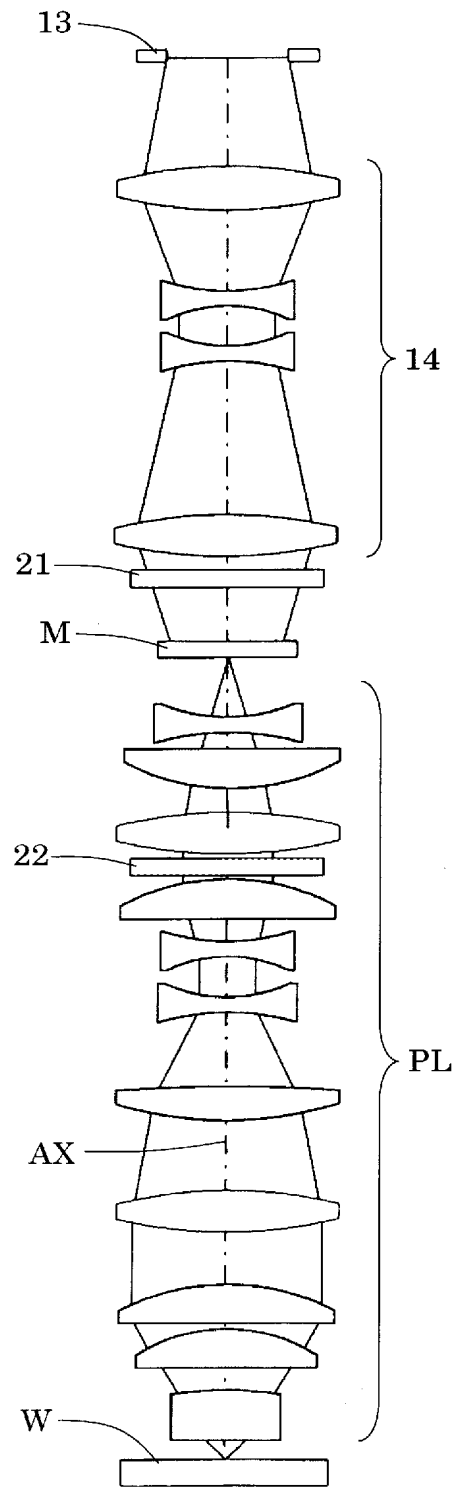
[図10]



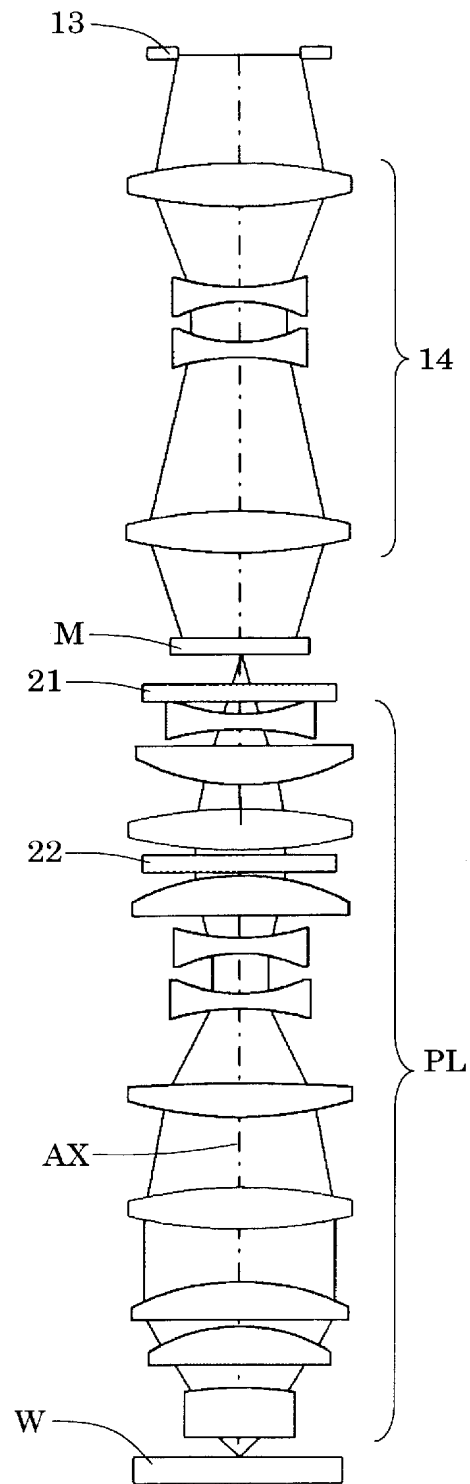
[図11]



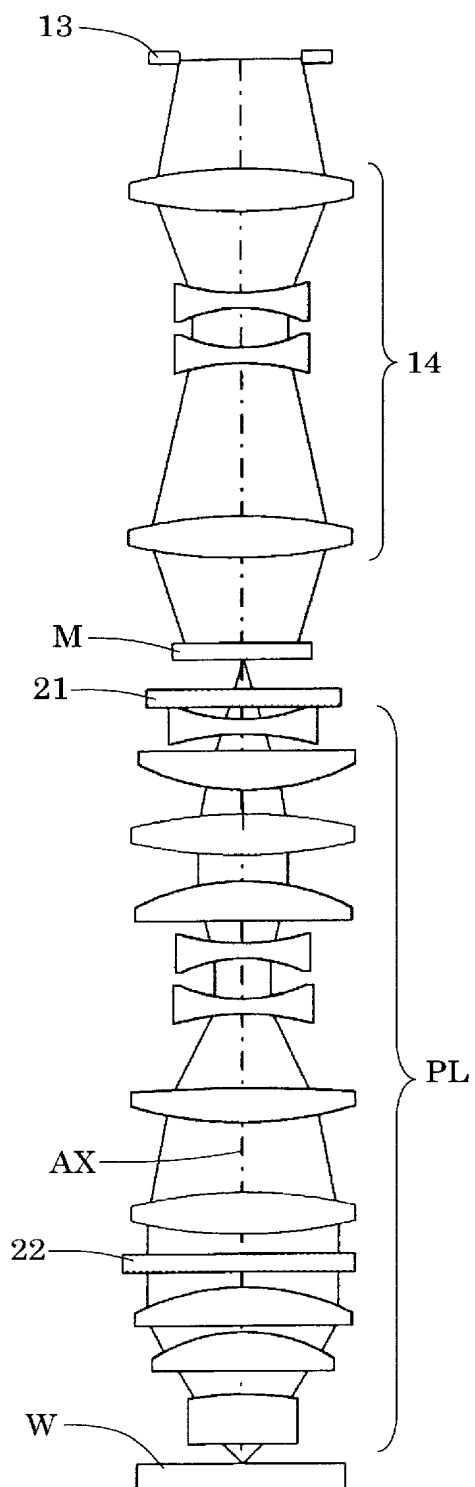
[図12]



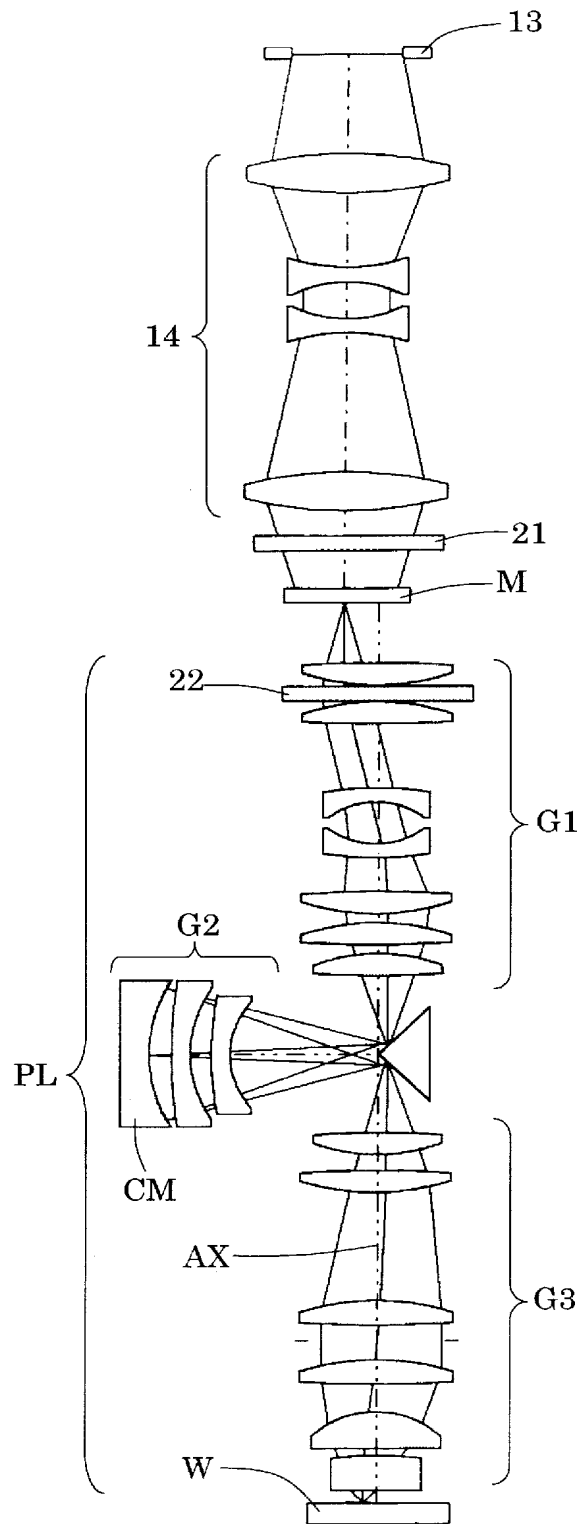
[図13]



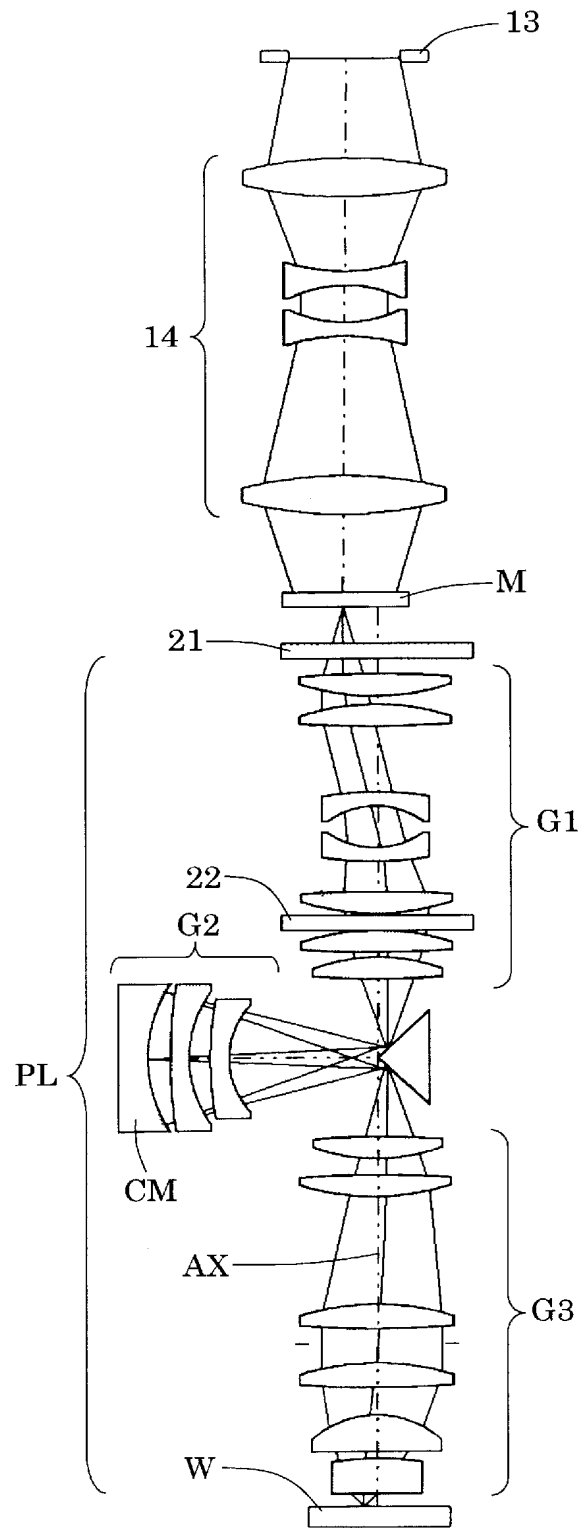
[図14]



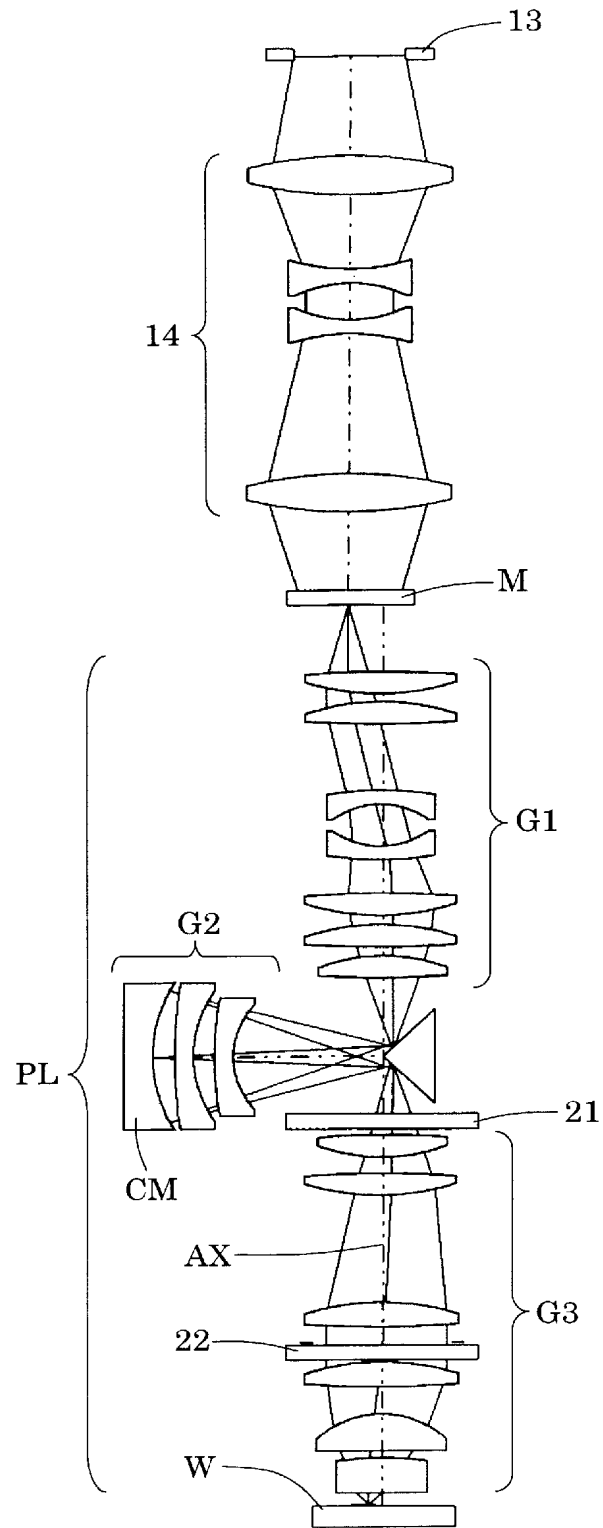
[図15]



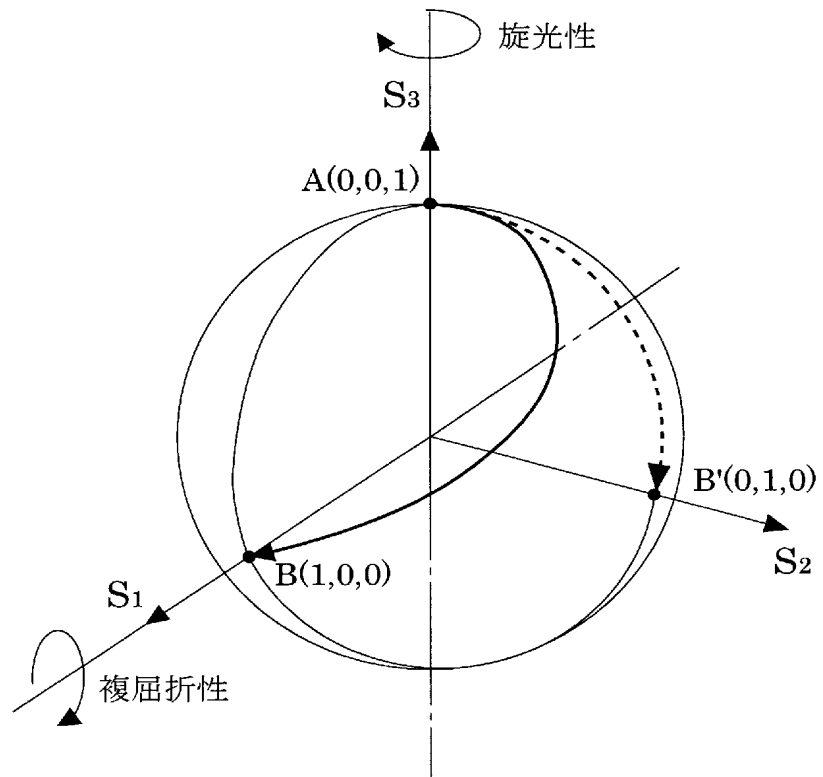
[図16]



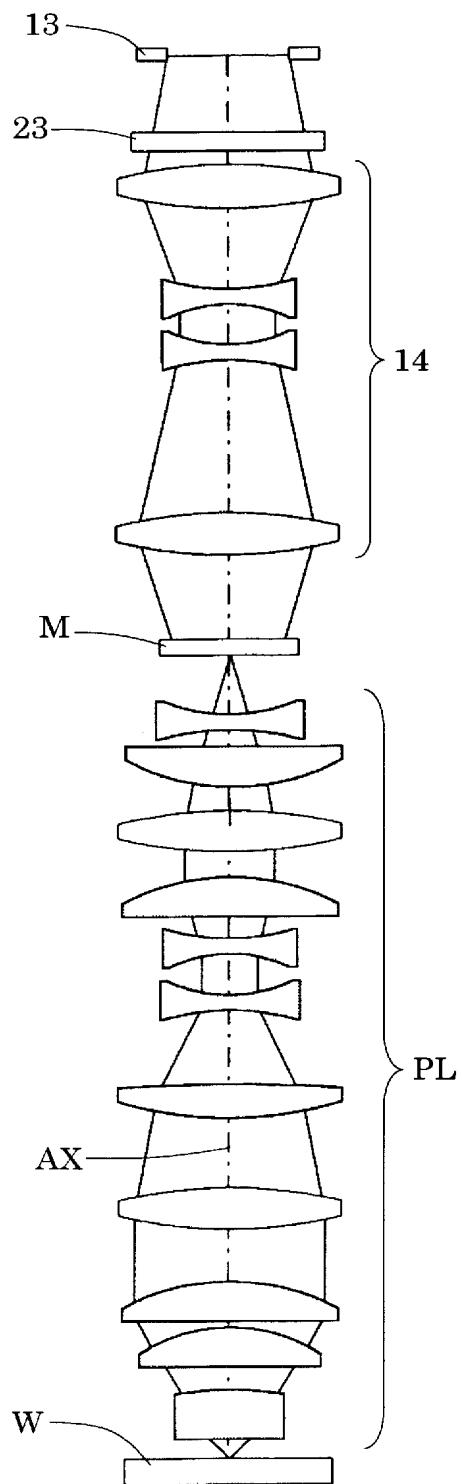
[図17]



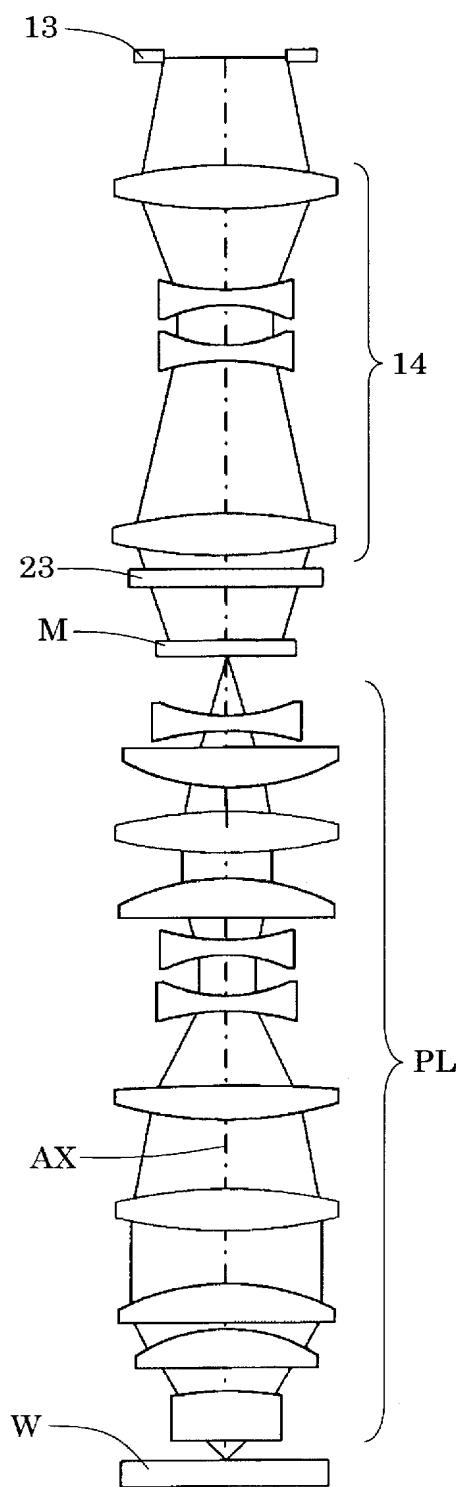
[図18]



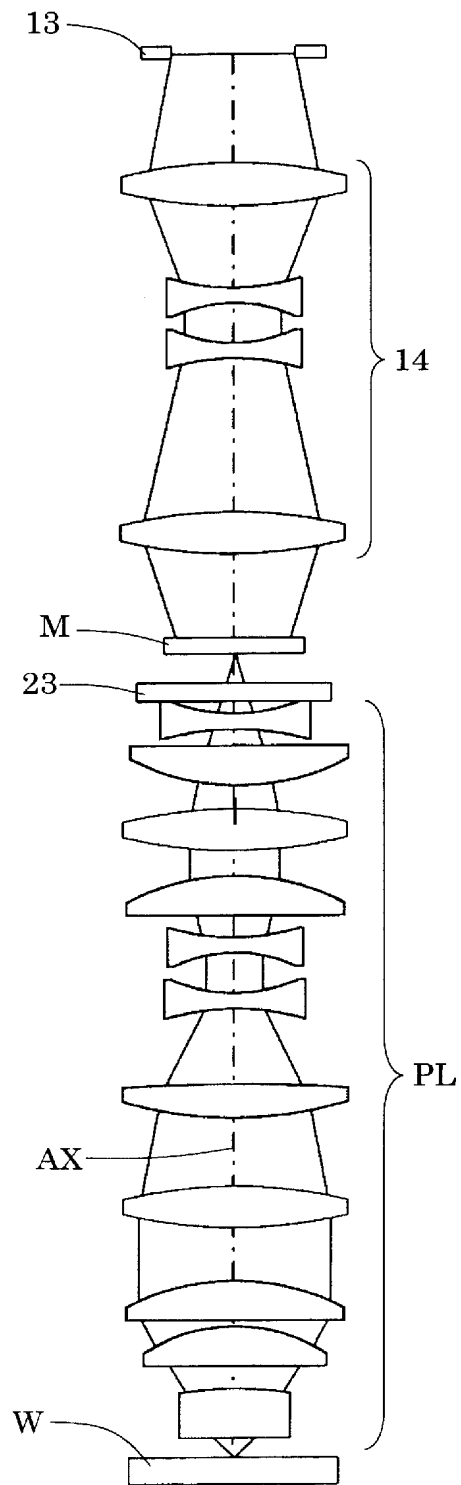
[図19]



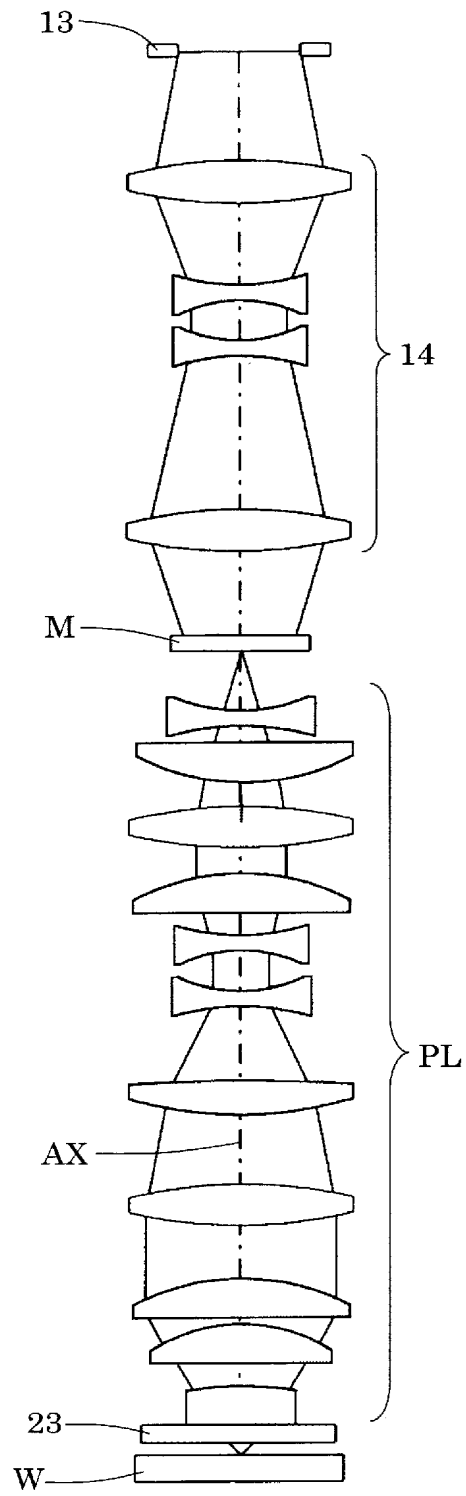
[図20]



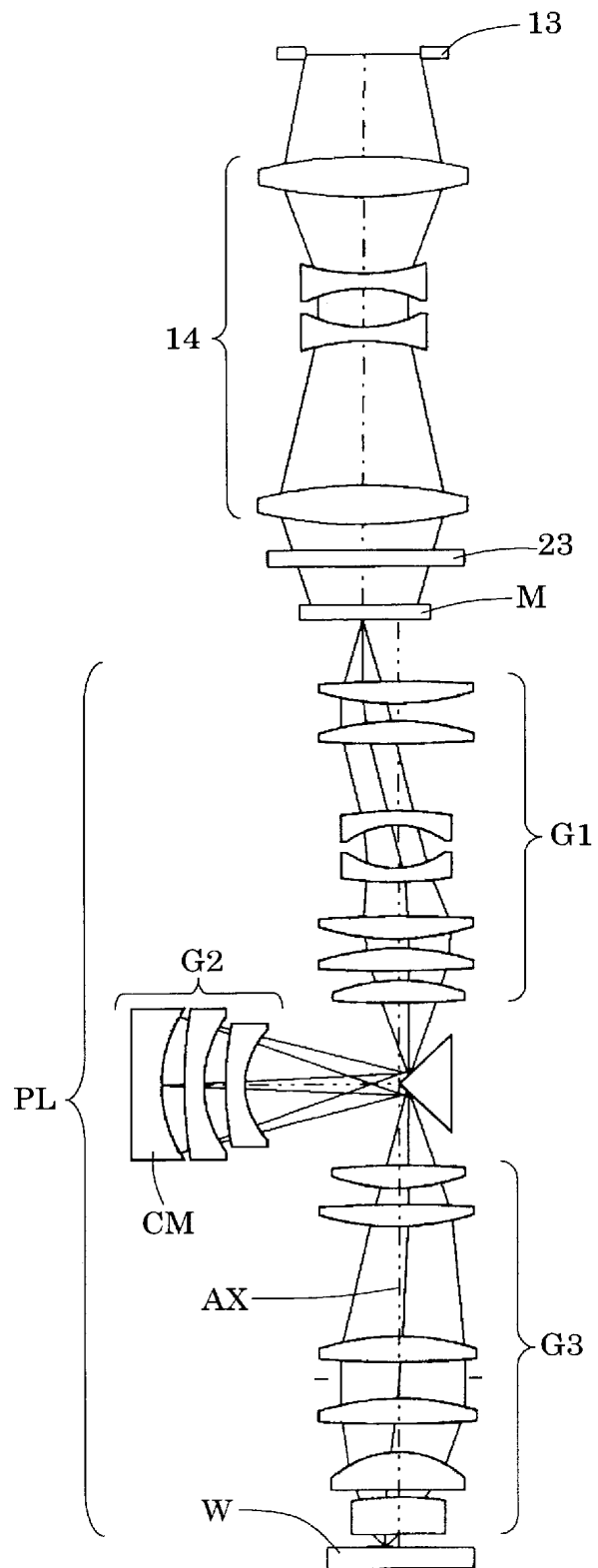
[図21]



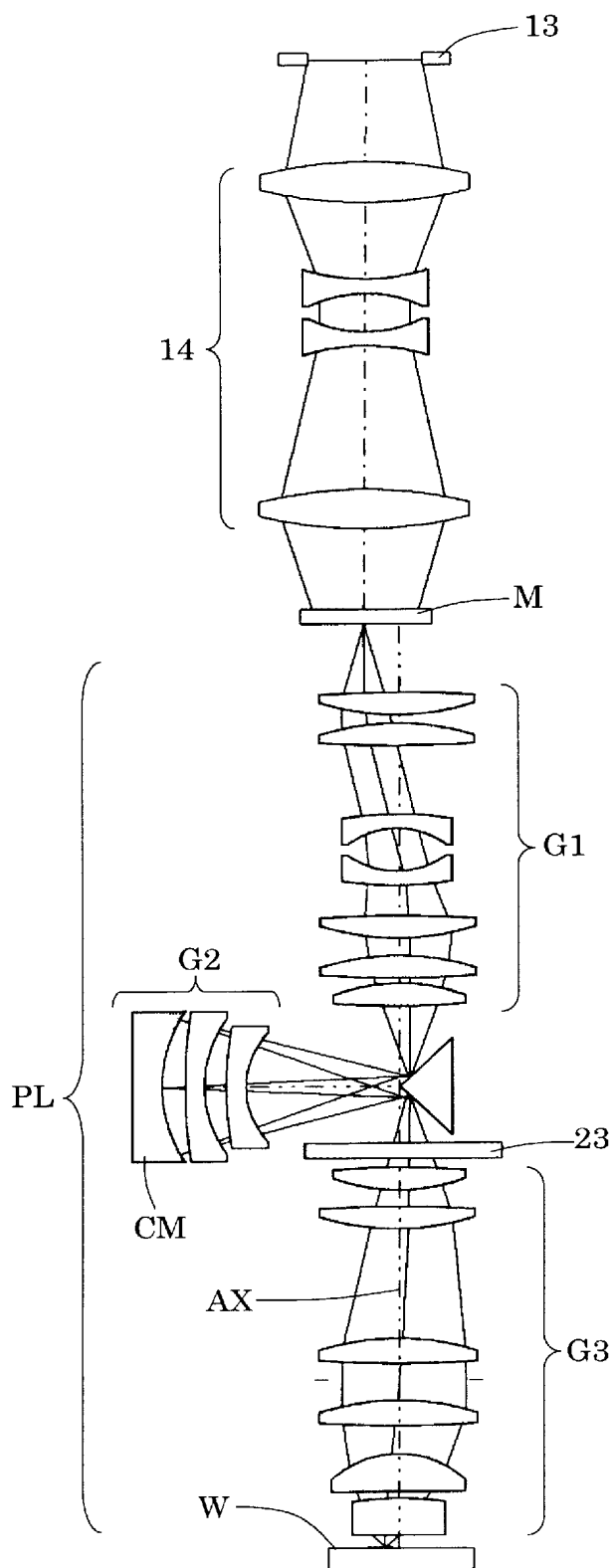
[図22]



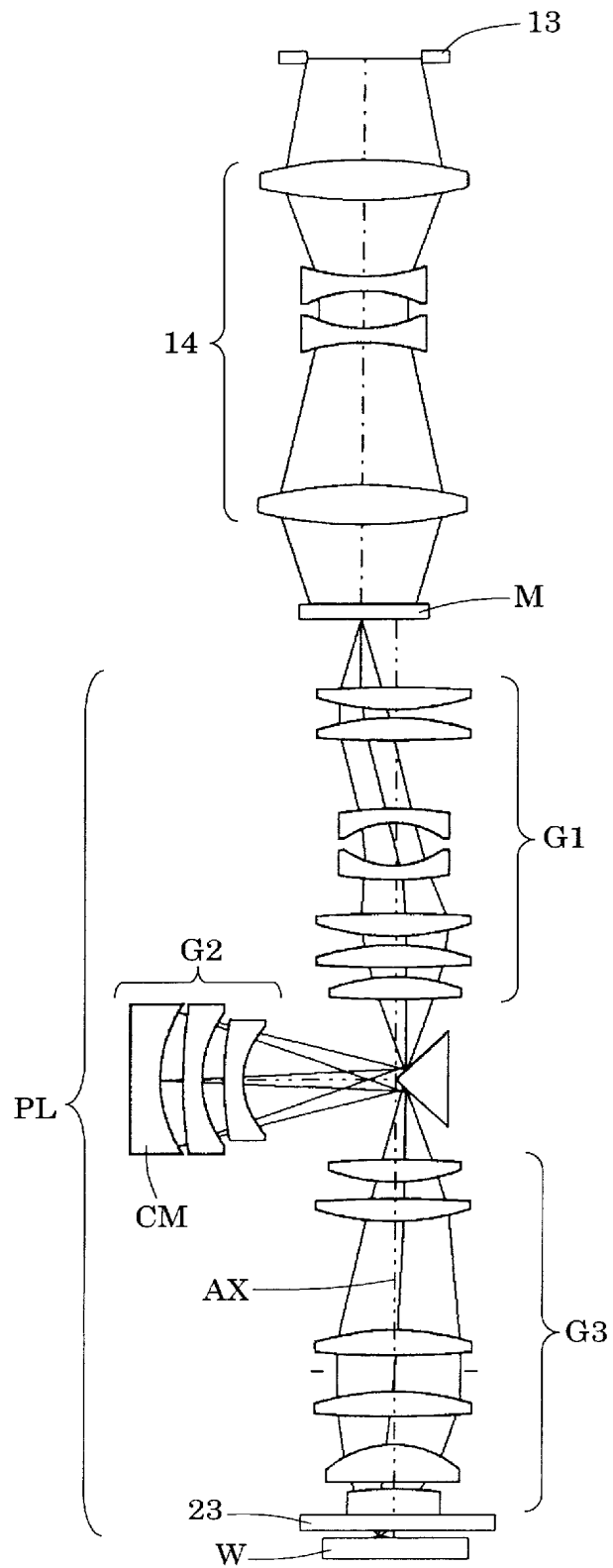
[図23]



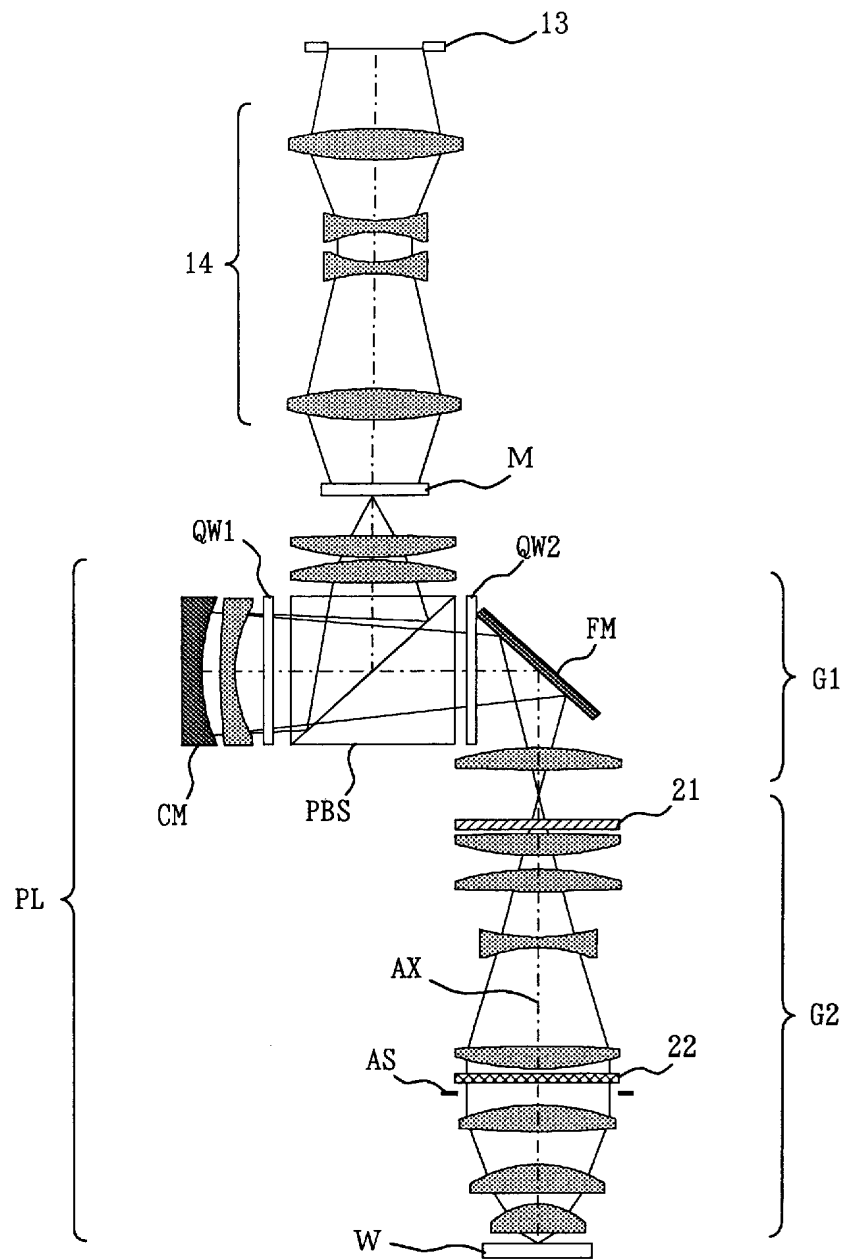
[図24]



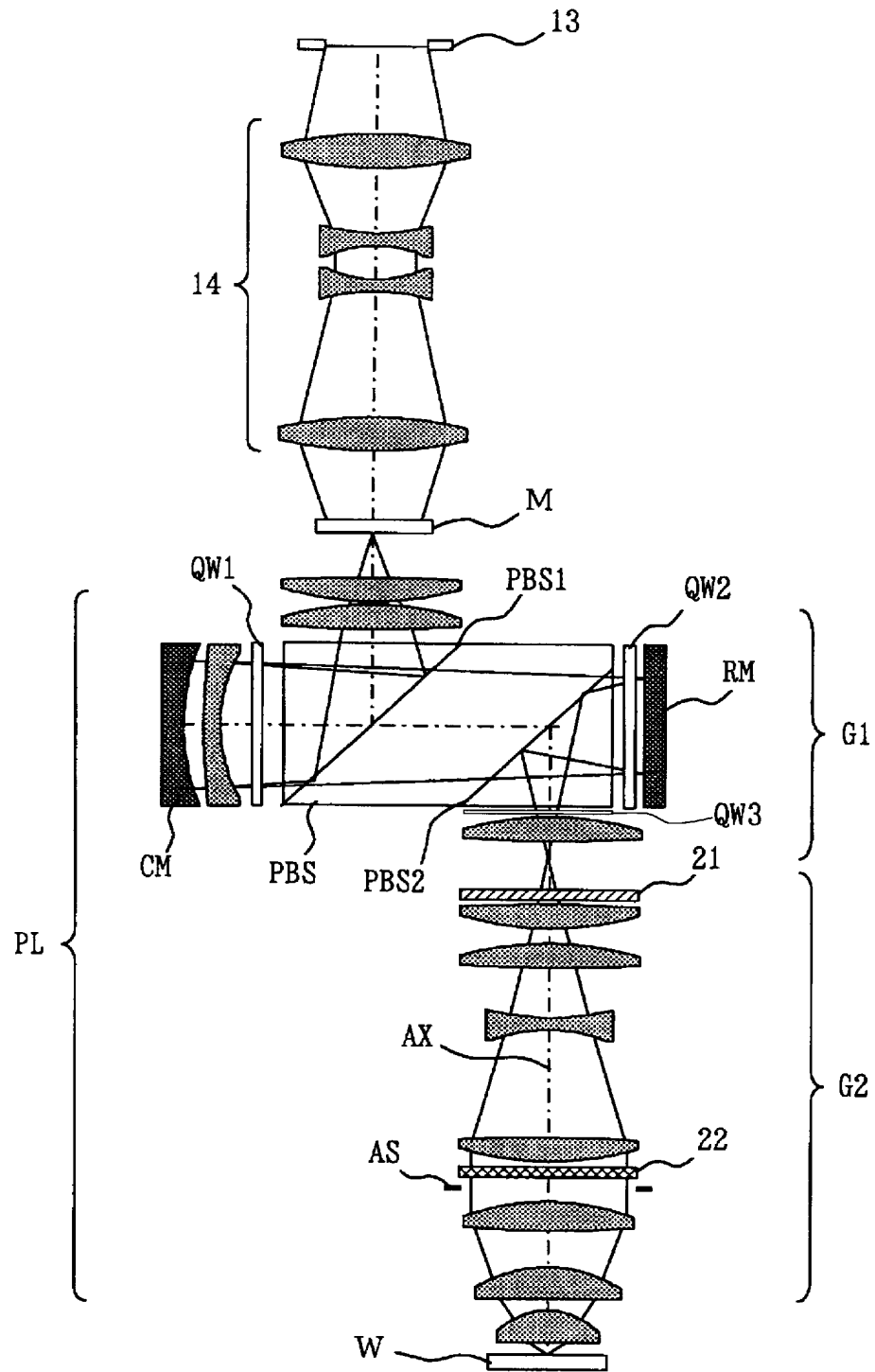
[図25]



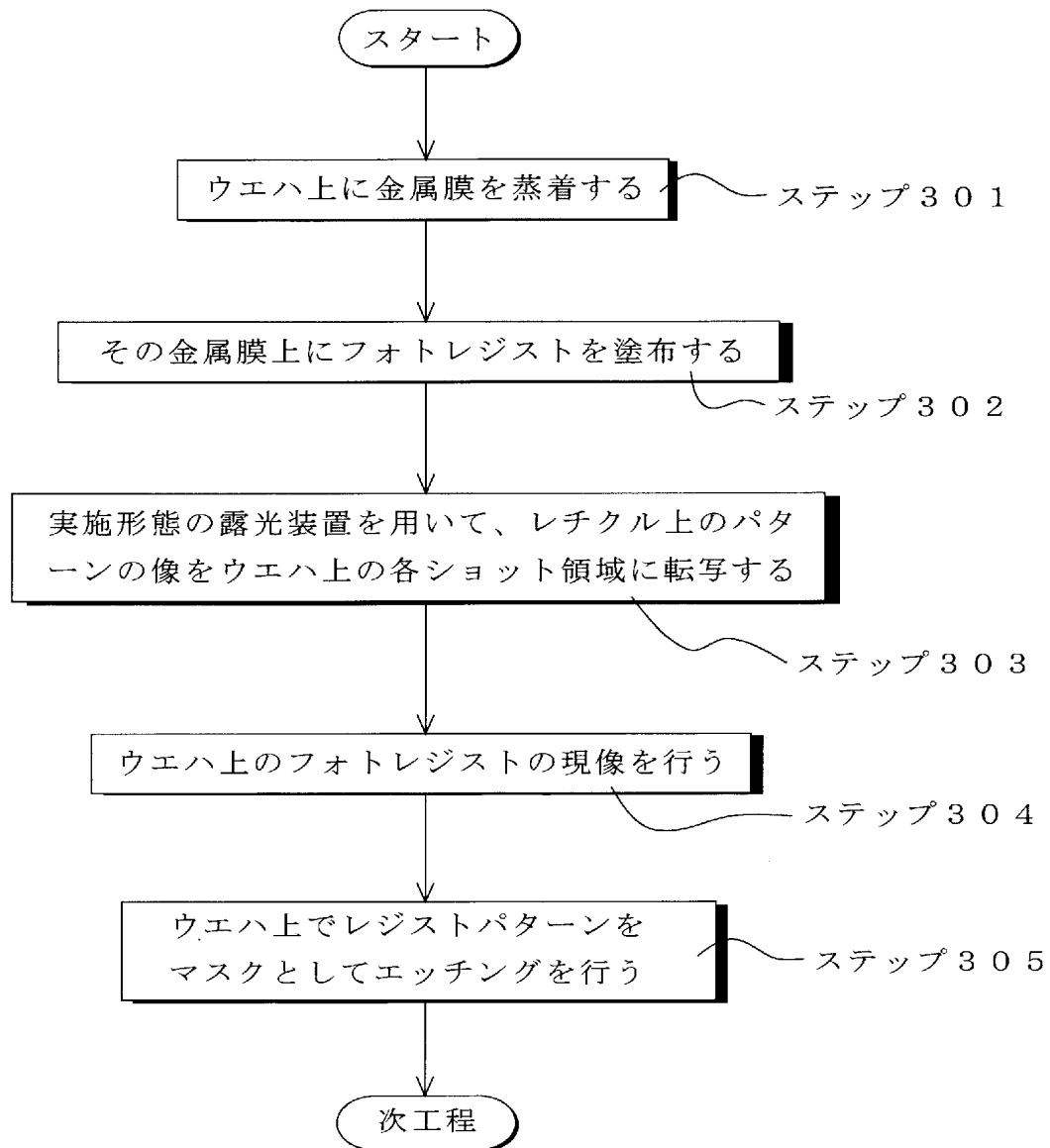
[[26]]



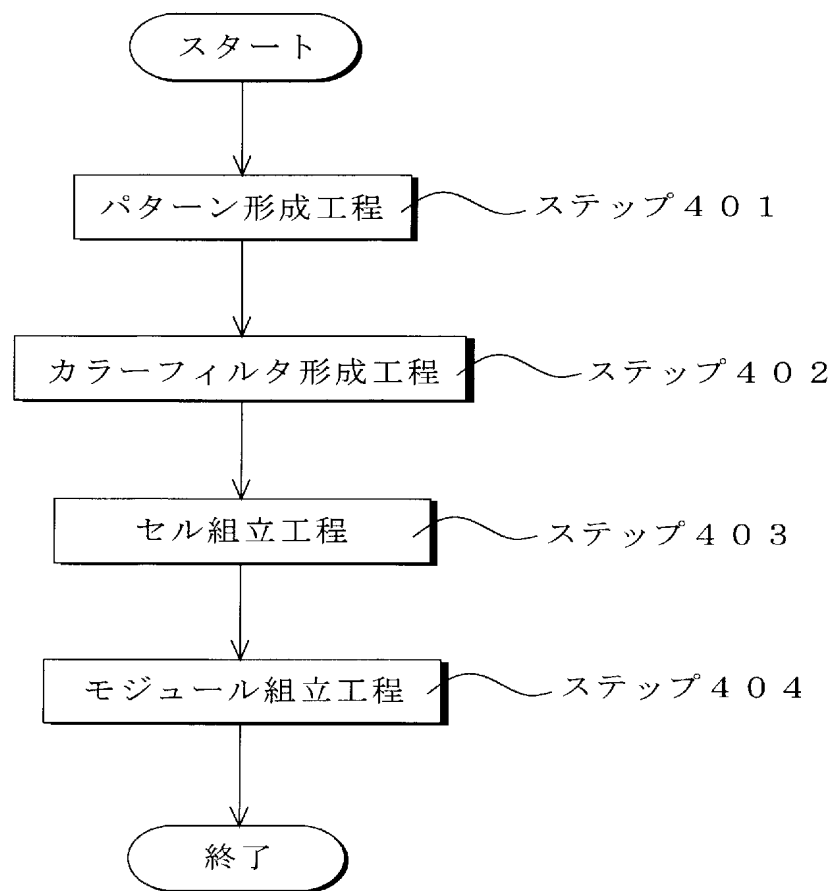
[図27]



[図28]



[図29]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/000406

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ H01L21/027, G02B13/24, 17/08, G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ H01L21/027, G02B13/24, 17/08, G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

| | | | |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho | 1922-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2005 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2005 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2005 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|---|-----------------------|
| A | JP 2003-035822 A (ZEISS CARL SEMICONDUCTOR MFG.), 07 February, 2003 (07.02.03), Page 1 & EP 1260849 A1 & DE 10124803 A1 & US 2002/176166 A1 | 1-29 |
| A | JP 2001-274083 A (CARL ZEISS STIFTUNG), 05 October, 2001 (05.10.01), Page 1 & EP 1130470 A2 & US 2001/019404 A1 & DE 10010131 A1 | 1-29 |

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
18 April, 2005 (18.04.05)

Date of mailing of the international search report
10 May, 2005 (10.05.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/000406

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|---|-----------------------|
| A | US 4755027 A (MAX PLANCK GESELLSCHAFT), 05 July, 1988 (05.07.88), Page 1 & DE 3523641 C1 | 1-29 |
| A | JP 9-184918 A (CARL ZEISS STIFTUNG), 15 July, 1997 (15.07.97), Page 1 & EP 764858 A2 & DE 19535392 A1 & US 6191880 B1 | 1-29 |
| A | JP 7-183201 A (NEC Corp.), 21 July, 1995 (21.07.95), Page 1 (Family: none) | 1-29 |
| P,A | JP 2004-258670 A (ASML NETHERLANDS BV), 16 September, 2004 (16.09.04), Page 1 & US 2004/169924 A1 & US 2004/227923 A1 | 1-29 |
| E,A | JP 2005-093522 A (Canon Inc.), 07 April, 2005 (07.04.05), Page 1 & WO 2005/027207 A1 | 1-29 |

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ H01L21/027, G02B13/24, 17/08, G03F7/20

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ H01L21/027, G02B13/24, 17/08, G03F7/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

| | |
|-------------|------------|
| 日本国実用新案公報 | 1922-1996年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2005年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2005年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2005年 |

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求の範囲の番号 |
|-----------------|---|------------------|
| A | JP 2003-035822 A (ZEISS CARL SEMICONDUCTOR MFG) 2003.02.07 第1頁 & EP 1260849 A1 & DE 10124803 A1 & US 2002/176166 A1 | 1-29 |
| A | JP 2001-274083 A (CARL ZEISS STIFTUNG) 2001.10.05 第1頁 & EP 1130470 A2 & US 2001/019404 A1 & DE 10010131 A1 | 1-29 |

☒ C欄の続きにも文献が列举されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18.04.2005

国際調査報告の発送日

10.05.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

岩本 勉

電話番号 03-3581-1101 内線 3274

2M

9355

| C (続き) . 関連すると認められる文献 | | |
|-----------------------|--|------------------|
| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求の範囲の番号 |
| A | US 4755027 A (MAX PLANCK GESELLSCHAFT) 1988. 07. 05 第1頁 & DE 3523641 C1 | 1-29 |
| A | JP 9-184918 A (CARL ZEISS STIFTUNG) 1997. 07. 15 第1頁 & EP 764858 A2 & DE 19535392 A1 & US 6191880 B1 | 1-29 |
| A | JP 7-183201 A (日本電気株式会社) 1995. 07. 21 第1頁 (ファミリー無し) | 1-29 |
| P, A | JP 2004-258670 A (ASML NETHERLANDS BV) 2004. 09. 16 第1頁 & US 2004/169924 A1 & US 2004/227923 A1 | 1-29 |
| E, A | JP 2005-093522 A (キヤノン株式会社) 2005. 04. 07 第1頁 & WO 2005/027207 A1 | 1-29 |